

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras



**Cálculo y diseño de una instalación de baja temperatura  
para A.C.S y de la estructura soporte de captadores  
solares**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Autor: Carlos Gómez Urbina**

**Tutora: Inés Iváñez del Pozo**



El uso apropiado de la ciencia no es conquistar la naturaleza, sino vivir en ella.

**Barry Commoner**



## Agradecimientos

Me gustaría comenzar aprovechando mi último trabajo que realizo en la universidad para agradecer enormemente a toda la gente que me ha acompañado en este paso y etapa de mi vida y que me han dado fuerzas para poder lograrlo de una o de otra forma.

En primer lugar me gustaría agradecerérselo a mi tutora, Inés Iváñez, sin cuya inestimable ayuda no podría haber terminado este trabajo. Agradecerla por su paciencia y por comprender lo que necesitaba en cada momento.

A mis amigos más cercanos como Fernando, Gonzalo, Guillermo, Juan, Alicia, Marta, Pedro, José y Jaime que más de una vez han sabido escucharme y alentarme a lo largo de esta etapa.

A todos mis compañeros de promoción; muchos de ellos se convirtieron en gente en la que sé que puedo confiar de verdad en los momentos importantes. Agradecer de forma especial a cuatro compañeros de universidad, compañeros de batallas, que a su vez forman parte del grupo de amigos cercanos: Pablo Garrido, Guillermo Escobar, David del Álamo y Álvaro Alonso. Con ellos tengo la mayoría de los recuerdos de mi paso en la universidad que llevaré conmigo siempre.

A mi novia Cris, quien consigue devolverme la alegría hasta en el peor de los momentos. Siempre tiene la manera de reponerme las fuerzas necesarias para conseguir lo que me propongo y dar con la forma de salvar cualquier dificultad.

A mi familia, en especial a mis padres, Mariano y Tina y a mi hermana Raquel. En ellos marco mi referencia y son, también, quienes mejor conocen los momentos difíciles que han surgido a lo largo de estos años y quienes saben hacer de manera más



fácil que tornen a felices. En gran medida el éxito de haber llegado hasta aquí os pertenece, gracias. Agradezco también a mis tíos y primos que han sabido tener siempre palabras de calor y sostén hacia mí. Gracias también a mis abuelos, Agustín, Nerea, Germán y Luisa, los que han sido para mí como unos segundos padres. Haber vuelto a mi ciudad natal para estudiar y poder estar cerca de ellos ha sido una de las mejores sorpresas que me ha dado la vida hasta el momento. De cada uno de ellos recordaré siempre palabras que reflejaban su sabiduría para este tipo de momentos, palabras de lo que ellos entendían por esfuerzo, compromiso y sacrificio y que han forjado parte de lo que hoy termina y comienza aquí; espero de corazón haber estado a la altura.



## Contenido

1. Introducción .....	9
1.1 Motivación.....	9
1.2 Objetivos del proyecto .....	9
1.3 Contenido.....	10
1.4 Tipos de energías convencionales y tipos de energías renovables.....	11
1.5 Energía solar .....	13
2. Protocolo de Kyoto.....	16
2.1. Introducción .....	16
2.2. Gases contemplados .....	18
2.3. Mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto .....	19
2.4. Medidas en el sector energético en España para cumplir con los protocolos	22
3. Estado del arte energía solar térmica .....	27
3.1 Diferenciación sistemas baja temperatura y media/alta temperatura.....	27
3.2 Clasificación instalaciones .....	27
4. Detalles del edificio .....	39
5. Cálculo captadores solares .....	41
5.1 Determinación de la demanda energética de A.C.S.....	42
5.2 Radiación solar incidente sobre el plano de los captadores .....	48
5.3 Método f-chart .....	50
5.5 Calculo de las pérdidas por orientación e inclinación .....	60
5.6 Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras .....	64
6. Estructura soporte.....	71
6.1 CORREAS.....	73
6.1.1 Peso propio del captador (Gppo) .....	74
6.1.2 Viento (DB SE-AE) .....	76
6.1.3 Nieve (DB SE-AE).....	77
6.1.4. Análisis estructural y dimensionado de la correa. ....	79
6.2 MARCO .....	84
6.2.1 . Hipótesis 1→ Viento incidiendo sobre la cara frontal del captador .....	84



6.2.2 Hipótesis 2→ Viento incidiendo sobre la cara posterior del captador .....	99
6.3 BASAS .....	130
6.3.1 Basa para apoyo A .....	130
6.3.2 Basa para apoyo B .....	134
6.3.3 Anclajes mecánicos apoyo A .....	134
6.3.4 Anclajes mecánicos apoyo B .....	140
6.4 UNIONES-SOLDADURAS .....	141
6.4.1) Unión Barra 1 - Basa .....	141
6.4.2) Unión Barra 2 – Basa .....	142
7. Análisis de los componentes del sistema .....	144
7.1 Captador solar .....	144
7.1.1 Constitución y funcionamiento .....	145
7.1.2 Parámetros característicos .....	152
7.3 Intercambiador de calor .....	158
7.3.1 Intercambiador de calor interno .....	159
7.3.2 Intercambiador de calor externo .....	159
7.4 Circuito hidráulico .....	163
7.5 El fluido caloportador .....	164
7.6 Conexionado de captadores .....	170
7.6.1 Conexionado en paralelo .....	172
7.6.2 Conexionado en serie .....	174
7.6.3 Conexionado en serie-paralelo .....	175
7.6.4 Distribución de los captadores en cubierta .....	178
7.7 Tuberías .....	179
7.7.1 Diagrama conexionado captadores en cubierta .....	187
7.8 ELEMENTOS AUXILIARES .....	189
7.8.1 Válvulas .....	189
7.8.2 Vaso de expansión .....	191
7.8.3 Purga de aire .....	197
7.8.4 Sistema de llenado .....	197
7.9 Selección de la bomba .....	197
8 Circuito secundario .....	205
8.1 Sistema de acumulación .....	205



8.2 Conexionado sistema hidráulico (tuberías, fluido caloportador...)	211
8.3 Bomba de impulsión	213
8.4 Vaso de expansión	215
9. Selección componentes circuito terciario y de consumo	219
10. Estudio medioambiental	224
11. ESTUDIO ECONÓMICO	229
11.1 Subvención	232
11.2 Valor Actual Neto	233
12. Conclusiones	237
13. Referencias y Bibliografía	240
14. Anejos	242

# 1. INTRODUCCIÓN



## **1. Introducción**

### **1.1 Motivación**

La energía es un recurso imprescindible para nuestras vidas. Aunque su producción es la culpable a su vez del deterioro y cambio del medio ambiente, nadie puede imaginarse por un momento renunciar a ella.

Debido a que la demanda energética continua creciendo, se muestra lógica la necesidad de estudiar la alternativa a las energías que actualmente son más comunes así como preocuparse por la limitación de dichos recursos y en qué medida respetan a el medio ambiente.

La energía en la que se centra este proyecto entra dentro del marco de las denominadas energías renovables, conjunto de tecnologías de generación de energía que utilizan recursos naturales, inagotables y de forma limpia.

En España se presenta una situación favorable, debido sobre todo a su situación geográfica, ya que las condiciones climatológicas son muy propicias para el aprovechamiento de este tipo de energía en numerosas aplicaciones distintas. Aún con todo esto, en la cabeza de la lista de la energía solar producida en Europa encontramos países con bastantes peores condiciones en este entorno como son Alemania o Reino Unido. Es por ello que la energía solar, fuente inagotable y renovable necesita, aparte de una ayuda económica, financiera y legal; una implicación social para su uso.

### **1.2 Objetivos del proyecto**

El objetivo del presente proyecto se basa en el cálculo y diseño de una instalación solar térmica de baja temperatura para el suministro de agua caliente sanitaria para un edificio multivivienda, así como la estructura encargada de dar



soporte a las placas solares utilizadas en el sistema. También acompañan al presente documento la valoración económica y el estudio de impacto ambiental de la instalación.

### 1.3 Contenido

Previamente al desarrollo del grueso del proyecto se llevará a cabo una breve introducción a los tipos de energías existentes, tanto convencionales como renovables, contando con una descripción algo más amplia de la energía solar, la cual incumbe al proyecto.

Se continuará con una breve explicación del protocolo de Kyoto, marco trascendental para entender la importancia del presente proyecto, y la convención que dicta estos tratados: Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUSCC).

En el siguiente capítulo se continuará con la explicación del estado del arte actual para la energía solar térmica.

A continuación se comenzará con la definición de las condiciones de contorno y parámetros de partida del presente proyecto, para continuar con el dimensionamiento de la instalación, comenzando con el cálculo del número de captadores solares necesarios a través del método f-chart y todo lo que rodea a éstos, tal como su orientación, posicionamiento, etc. Se necesitará realizar para ello previamente un cálculo de los consumos y energía disponible para el caso concreto.

Se prosigue con el capítulo referente al cálculo de la estructura soporte de los captadores solares; dónde, además de analizar las cargas que necesitará soportar esta estructura, se dimensionarán los perfiles utilizados en la misma.



En los siguientes capítulos se realizará tanto un análisis de los diferentes componentes de este tipo de sistema como la selección de los diferentes subsistemas para esta instalación atendiendo tanto a las condiciones iniciales y características necesarias de los diferentes equipos. Se dividirá el análisis y explicación de los diferentes equipos y subsistemas en diferentes apartados, atendiendo a qué circuito forman parte.

Por último, en los siguientes apartados, se realizará un estudio medioambiental de la instalación y de viabilidad económica para el proyecto.

#### **1.4 Tipos de energías convencionales y tipos de energías renovables.**

Antes de comenzar a hablar de los distintos tipos de energía, cuyo criterio dependerá del modo de obtención de ésta, se divide en tres grupos principales: La energía eléctrica, térmica o de biocarburantes.

Por ejemplo, en las centrales eléctricas se obtiene electricidad por medio de generadores eléctricos, también denominados alternadores. Éstos son puestos en marcha a través de elementos motrices y turbinas, que son a su vez accionados por distintas formas de energía presentes en la naturaleza. Lo que diferencia unas centrales eléctricas de otras es el modo de energía que utilizan. Atendiendo a esto se puede clasificar a las centrales eléctricas en los siguientes grupos:

- Centrales hidráulicas
- Centrales térmicas (de carbón, de gas natural, de biomasa, etc.)
- Centrales nucleares
- Centrales mareomotrices
- Centrales geotérmicas
- Centrales eólicas

- Centrales solares (fotovoltaicas y termoeléctricas)
- Centrales hidrotérmicas
- Centrales de gradientes salinos
- Centrales undimotrices

Todos estos grupos de energía se pueden dividir en dos categorías: energías convencionales y energías renovables. Denominamos energías convencionales a todas aquellas que utilizan fuentes de energía comunes para producir electricidad.

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Las principales diferencias entre estos dos grupos están listadas a continuación:

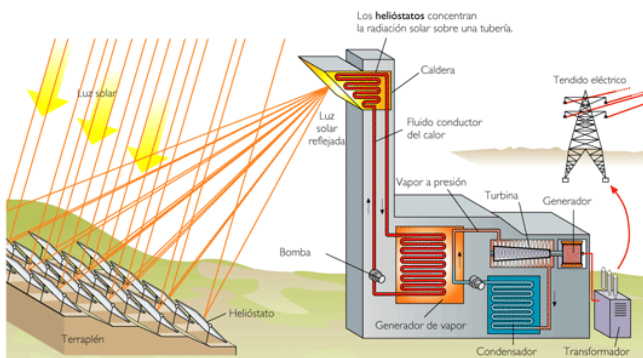
Energías convencionales	Energías renovables
Contaminan	Limpias
Limitadas	Inagotables
Provocan dependencia exterior	Autóctonas
Generan residuos	Sin residuos
Utilizan tecnología o recursos importados	Equilibran desajustes interterritoriales

Tabla 1. Energías convencionales frente a renovables



## 1.5 Energía solar

La que centra la atención del proyecto es la energía solar y dentro de ella existen tres tecnologías diferentes: la energía solar termoeléctrica, la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica.



**Ilustración 1. Funcionamiento energía solar termoeléctrica.**



**Ilustración 2. Central Solar Termoeléctrica**

La energía solar termoeléctrica agrupa el conjunto de tecnologías caracterizadas por realizar la concentración solar, con el objetivo de lograr temperaturas que permitan una generación eléctrica por medio de un ciclo de vapor.

La energía solar fotovoltaica produce electricidad directamente mediante paneles fotovoltaicos basados en células sensibles a la radiación solar.

La energía solar térmica se encarga de convertir la radiación solar en calor útil. La misión de este tipo de instalaciones es la de conseguir un ahorro máximo de energía convencional que habitualmente se emplea en el calentamiento de agua y calefacción. La cantidad de energía solar aprovechable depende de muchos factores, algunos como el diseño pueden ser controlados, pero otros lamentablemente no se pueden controlar tales como el clima, la localización geográfica, etc.

Para que la instalación solar térmica sea competitiva, será necesario emplear otros sistemas de apoyo energético convencionales, tales como el gas natural.

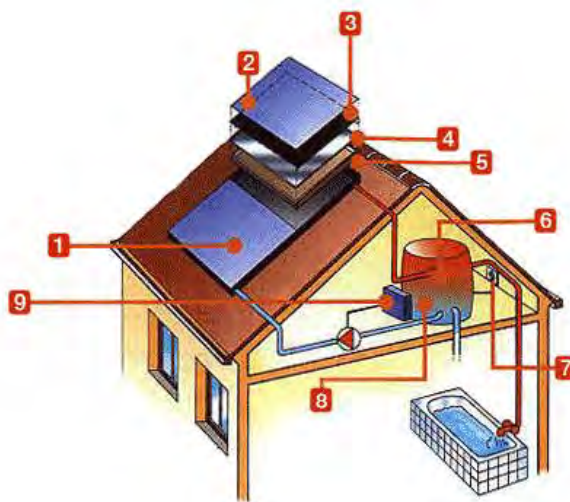


Ilustración 3. Imagen sistema solar térmico de ACS.

## 2. PROTOCOLO DE KYOTO



## 2. Protocolo de Kyoto

### 2.1. Introducción

Fue en 1979 cuando se presentaron por primera vez las consecuencias del impacto de la influencia humana sobre el clima, en la primera Conferencia Mundial sobre el Clima.

La Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC) fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor el 27 de marzo de 1994. Permite, entre otras cosas, reforzar la conciencia pública, a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático. En virtud de esta Convención, los países firmantes:

- Recogen y comparten la información sobre las emisiones de GEIs, las políticas nacionales y las prácticas óptimas en materia de reducción de emisiones.
- Ponen en marcha estrategias nacionales para abordar el problema de las emisiones y adaptarse a los efectos previstos del cambio climático, incluida la prestación de apoyo financiero y tecnológico a los países en desarrollo.
- Cooperan para prepararse y adaptarse a los efectos del cambio climático.

La Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) incorporó una línea muy importante de uno de los tratados multilaterales sobre medio ambiente que más éxito han tenido en toda la historia: el Protocolo de Montreal de 1987, en virtud de la cual los estados miembros están obligados a actuar en interés de la seguridad humana incluso a falta de certeza científica.

Un logro importante de la Convención, caracterizada por su carácter general y flexible, es el reconocimiento del problema del cambio climático como real. La entrada en vigor del tratado representó un gran paso, dado que se disponía de menos pruebas científicas que hoy en día (y todavía hay quienes dudan de que el cambio climático sea



un problema real). Es difícil conseguir que las naciones del mundo se pongan de acuerdo en algo, mucho menos en un planteamiento común ante una dificultad que es compleja, cuyas consecuencias no son totalmente claras y que producirá sus efectos más graves dentro de varios decenios e incluso siglos.

La CMNUCC entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Hoy en día cuenta con un número de miembros que la hace casi universal. Las denominadas «Partes en la Convención» son los 195 países que la han ratificado.

La Convención reconoce que es un documento «marco», es decir, un texto que debe enmendarse o desarrollarse con el tiempo para que los esfuerzos frente al calentamiento atmosférico y el cambio climático puedan orientarse mejor y ser más eficaces. La primera adición al tratado, el Protocolo de Kyoto, se aprobó en 1997 y expiraba en el año 2012, aunque ha sido ampliado hasta 2020 (aunque ésta segunda parte no la han conformado los mismos países que ratificaron la primera). Buscaba reducir las emisiones de GEIs (Gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HCF, PFC y SF<sub>6</sub>) de los principales países industrializados con el fin de que en el periodo que va de 2008 a 2012 esas emisiones descendieran un 1,8% por debajo de las registradas en 1990.

El Protocolo de Kioto tiene los mismos objetivos, principios e instituciones de la Convención, pero refuerza ésta de manera significativa, ya que a través de él las Partes incluidas (países industrializados que en 1992 eran miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico – OECD) se comprometen a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de GEIs. Sólo las Partes a la Convención que sean también Partes al Protocolo (es decir, que lo ratifiquen) se ven obligadas por los compromisos del Protocolo. Los objetivos individuales para las Partes incluidas se enumeran en el Protocolo de Kioto. Entre todos suman un total de recorte de las emisiones de gases de efecto invernadero de al menos el 5% con respecto a los niveles de 1990 en el periodo de compromiso de 2008-2012. El 31 de mayo de 2002, la Unión Europea ratificó el protocolo de Kioto, que entró en vigor el 16 de febrero de 2005, tras la ratificación de Rusia ya que para su

entrada en vigor debían ratificarlo 55 países que representaran el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, varios países industrializados se negaron a ratificar el protocolo, entre ellos, Estados Unidos y Australia. [1]

Los principales componentes del Protocolo de Kioto son los que a continuación se exponen:

## 2.2. Gases contemplados

El Protocolo de Kioto se aplica a las emisiones de seis gases de efecto invernadero:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- Metano (CH<sub>4</sub>);
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O);
- Hidrofluorocarbonos (HFC);
- Perfluorocarbonos (PFC);
- Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

El Protocolo de Kioto marca objetivos obligatorios relativos a las emisiones de GEIs para las principales economías mundiales que lo han aceptado. Estos objetivos individuales van desde una reducción del 8% hasta un crecimiento máximo del 10% respecto a las emisiones del año base, que ha sido fijado en 1990 (se podrá utilizar el año 1995 para los gases fluorados) y según cita el Protocolo [2] *“con miras a reducir el total de sus emisiones de los GEIs a un nivel inferior de no menos de un 5% al nivel de 1990 en el periodo de compromiso 2008-2012 a nivel mundial”*. En casi todos los casos, incluso en aquellos que tienen un crecimiento máximo de las emisiones del 10% sobre 1990, estos límites obligan a unas reducciones importantes sobre las emisiones proyectadas.

Los compromisos contraídos en virtud del Protocolo de Kioto varían de un país a otro. Así, el objetivo de recorte global del 5% sobre los niveles de GEIs de 1990 para



los países desarrollados oscila entre el recorte del 28% de Luxemburgo y el 21% de Dinamarca y Alemania; y un incremento máximo de las emisiones del 25% en Grecia y de un 27% en Portugal.

La Unión Europea asumió un objetivo conjunto de reducción del 8% de sus emisiones de 1990 para 2008-2012, si bien esta reducción ha sido distribuida de forma diferenciada entre sus Estados Miembros en función del Protocolo de Kioto sus características individuales. Así, el Estado Español tiene un objetivo de incremento máximo del 15% de sus emisiones de GEIs respecto a las generadas en 1990.

### 2.3. Mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto

Estos mecanismos tienen el doble objetivo de facilitar a los países desarrollados el cumplimiento de sus compromisos de reducción y limitación de emisiones y promocionar la financiación de proyectos "limpios" en países en desarrollo o en transición hacia económicas de mercado. Entre los mecanismos flexibles se incluyen los siguientes [3]:

- El Comercio de Derechos de Emisión: mediante este mecanismo los países del Protocolo podrán comprar o vender una parte de sus derechos de emisión a otros países, con el objetivo de alcanzar, de forma eficiente desde el punto de vista económico, los compromisos adquiridos en Kyoto. De esta manera, los países que reduzcan sus emisiones más de lo comprometido podrán vender los créditos de emisiones excedentarios a los países que consideren más difícil satisfacer sus objetivos. Este ha sido uno de los mecanismos utilizados por España para llegar a los objetivos marcados para 2012 comprando 'aire caliente' a Polonia. A continuación se muestra una imagen de los principales compradores de emisiones.



Ilustración 4. Principales compradores de créditos de carbono

- La aplicación conjunta (AC o JI por sus siglas en inglés): este mecanismo regula proyectos de cooperación entre países obligados a contener o reducir sus emisiones, de manera que la cantidad de ahorro gracias a las nuevas instalaciones, respecto a plantas más contaminantes, se comparte entre los participantes en los proyectos.
- Mecanismos de desarrollo limpio (MDL o CDM por sus siglas en inglés): se trata de un mecanismo similar al anterior, dirigido a países con compromisos de reducción de emisiones, de manera que puedan vender o compensar las emisiones equivalentes que han sido reducidas a través de proyectos realizados en otros países sin compromisos de reducción, generalmente en vías de desarrollo.

España se presentó en la Cumbre de Doha (Qatar) con los deberes técnicamente hechos. Sin embargo, las emisiones sobrepasaron lo permitido en más de un 15%.



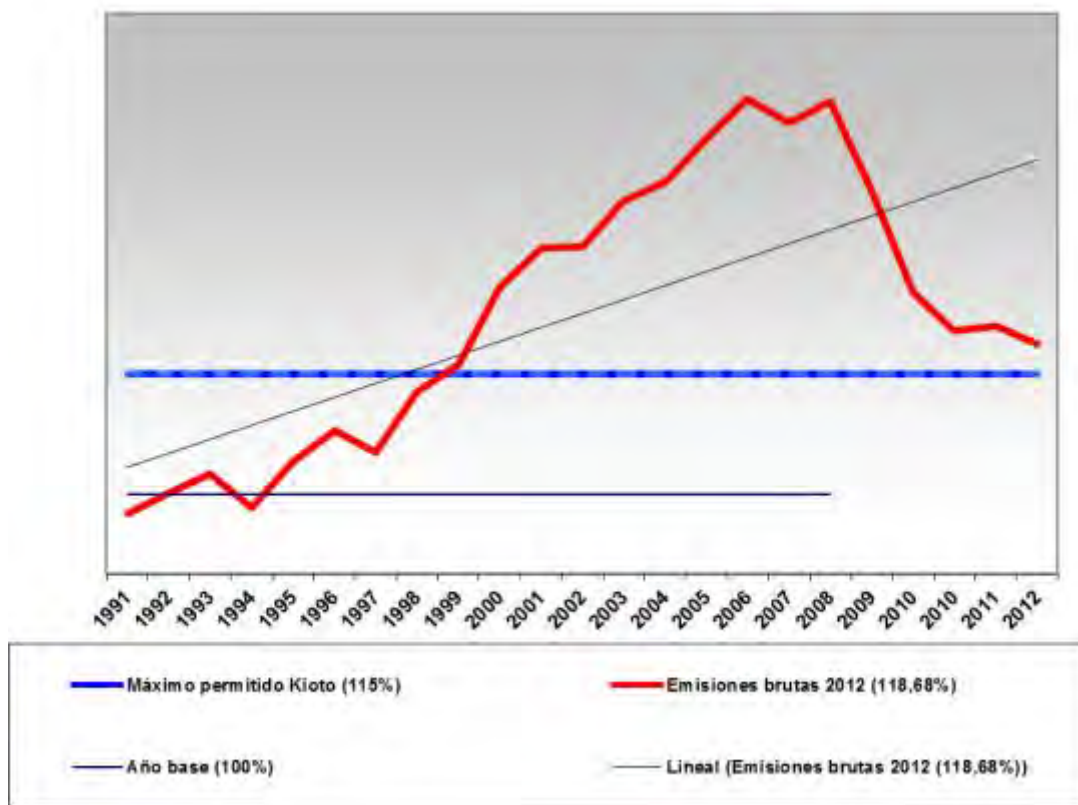


Ilustración 5. Emisiones en España 2012 [4]

En el año 2010 y 2011 las emisiones totales de CO<sub>2</sub> subieron un 22,8% y un 22,9% respectivamente. Cifras muy por encima de lo permitido por el Protocolo de Kioto que establecía el límite en el 15%. Para cumplir con los objetivos el Gobierno se vio obligado a adquirir 40,75 millones de euros de "aire caliente" mediante la compra de su excedente de emisiones a Polonia.

El caso de España no es único, la práctica del Comercio de Emisiones dentro de la UE es algo generalizado tal como quedó patente durante la Cumbre del Clima que se celebró en Doha y dónde se presentó la renovación del pacto hasta 2020. Muchos son los países que abandonaron el pacto, cubriendo éste únicamente un 15% de la contaminación global.

En diciembre del pasado año 2015 los principales líderes mundiales se reunieron en París en la vigesimoprimera conferencia internacional sobre el cambio

climático. En esta ocasión la Convención consiguió lograr un hito logrando que 195 países llegaran a un acuerdo. El objetivo no es otro que parar el avance de los aumentos de temperatura (por debajo de 2°C) y llegar en 2050 a que las emisiones ocasionadas por el hombre sean reducidas a niveles que bosques y océanos de nuestro planeta puedan absorber. La realización de las diferentes metas impuestas a los países se llevará a cabo a partir del primer ciclo, en 2020, justo con la finalización del periodo acordado en el protocolo de Kyoto.

## 2.4. Medidas en el sector energético en España para cumplir con los protocolos

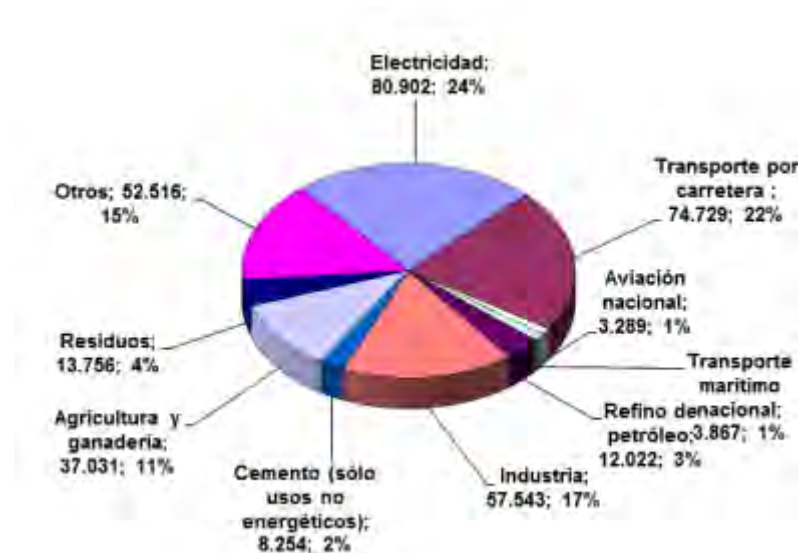


Ilustración 6. Emisiones de GEI por sector en 2012 [5]

La mayor importancia para cumplir con los protocolos reside en el ajuste de las políticas de cambio climático, cambios en políticas de transporte y en la política energética. Se comentan a continuación algunas de las medidas necesarias para impulsar este cambio hacia el control de la contaminación ya que son las que tienen relación con el presente proyecto:

- Acabar con la incertidumbre regulatoria en el sector eléctrico. Terminar con la inestabilidad regulatoria actual, para que se permita una planificación energética estable y fiable a largo plazo (2030 y 2050), eficiente y sostenible,



cumpliendo los objetivos ambientales de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y objetivos en renovables para 2020 de la Unión Europea. Las energías renovables necesitan un marco legal básico que sea estable y que no esté sujeto a tantos cambios e incertidumbres en su sistema retributivo y en las condiciones técnicas y normativas en que se desenvuelve este sector.

- Fomentar las energías renovables. Es necesario la puesta en marcha de nuevas instalaciones renovables (acabar con la moratoria renovable) y la mejora tecnológica para una reducción de costes. Garantizar unas retribuciones suficientes para impulsar el desarrollo de las distintas tecnologías renovables que, al mismo tiempo, se ajuste a la previsible evolución de costes y evite indeseables “burbujas”, mejorar el acceso a la red eléctrica y evitar el establecimiento de trabas administrativas abusivas.
- Mejorar las políticas de innovación tecnológica: La inversión tanto pública como privada en I+D+i debe aumentarse y aprovechar el conocimiento adquirido y madurez tecnológica de las energías renovables. Esto redundará en la mejora de la competitividad de las empresas españolas, mayor crecimiento económico y una contribución al aumento del tejido industrial autóctono y ahorros en reducción de costes energéticos. Impulsar la I+D+i de las tecnologías emergentes.
- Autoconsumo con Balance Neto. Es necesaria la aprobación de la normativa que regule el autoconsumo energético y fomente la generación distribuida, lo cual permitiría a la ciudadanía disponer de su propia energía. De esta manera, cualquier ciudadano puede convertirse en productor y consumidor eléctrico,



instalando sistemas de tecnología renovable en su vivienda para ahorrar en la factura de la luz y generar energía de forma sostenible.

- Trasponer la Directiva de Eficiencia Energética optimizando el potencial de ahorro. Establecer un objetivo vinculante de reducción del consumo de energía primaria en un 20% en términos absolutos para 2020 respecto de 2007. Impulsar las empresas de servicios energéticos que ayuden a evaluar, diseñar y financiar planes y medidas de ahorro y eficiencia para las empresas de todos los sectores.
- Plan de rehabilitación y modernización de edificios con criterios de eficiencia energética, que incluya no sólo viviendas, sino también edificios industriales, de servicios y de las administraciones públicas. La rehabilitación energética de las viviendas debe ser una prioridad, ya que mejora la calidad de vida, y permite la creación de empleo en un sector especialmente castigado por la crisis como ha sido el de la construcción. Establecer una hoja de ruta para la rehabilitación energética de los edificios con el objetivo de reducción del consumo energético del parque de los edificios en 80% en 2050 involucrando a todas las partes interesadas del sector. Diseño de nuevos mecanismos de financiación a largo plazo, como una manera para asegurar la estabilidad de las inversiones y el desarrollo del mercado.
- Fiscalidad verde en el sector de edificación. Aplicación de un impuesto a las emisiones de CO<sub>2</sub> o un impuesto de eficiencia energética. Esto incentivaría la reducción del consumo energético y por tanto las emisiones del sector y, a la vez, proporcionaría los fondos públicos necesarios para estimular el sector de la



rehabilitación energética y mejoraría los aspectos económicos de las reformas profundas.

# 3. ESTADO DEL ARTE

## ENERGÍA SOLAR

### TÉRMICA

### 3. Estado del arte energía solar térmica

#### 3.1 Diferenciación sistemas baja temperatura y media/alta temperatura

Los sistemas de baja temperatura abarcan principalmente todos los procesos en los que el agua no llega a un estado gaseoso. Su campo de aplicación es amplio y variado: producción de A.C.S (Agua Caliente Sanitaria) en la edificación, para apoyo a la calefacción, para climatización de piscinas e incluso para precalentamiento en usos industriales.

Los sistemas de media y alta temperatura son destinados a procesos industriales por ejemplo para generación de fluido térmico o desalinización de agua de mar y en ellos la temperatura del agua oscila entre temperaturas desde los 80°C a superior a los 250°C [6].

#### 3.2 Clasificación instalaciones

Hay una gran variedad de configuraciones posibles para las instalaciones solares para suministro de agua caliente sanitaria. Se pueden establecer diferentes criterios de agrupación atendiendo a diferentes características:

- Principio de circulación:

Podremos realizar el movimiento del fluido de trabajo por medio de una circulación forzada o por convección natural.

Convección natural: En este tipo el trabajo circula por convección natural debido a la diferencia de densidad entre el fluido caliente y frío.

Cuando el fluido entra en el captador, se va calentando debido a la energía solar que incide en el absorbedor. Al aumentar su temperatura, su densidad decrece y por lo tanto se produce un efecto ascendente. El fluido acabará enfriándose en el acumulador y volverá al captador. Se produce una circulación de fluido que depende del gradiente de temperaturas entre el foco frío y el caliente. Cuando este gradiente es menor, es por lo tanto la velocidad de circulación menor, pudiendo incluso hasta pararse.



Ilustración 7. Captador solar con acumulador, circulación por convección natural

Al producirse un consumo en el acumulador entrará agua fría de la red por lo que reactivará la circulación. Estas instalaciones por lo tanto pueden prescindir del uso de bombas y tampoco necesitan sistemas de control por lo que pueden instalarse en casos en los que no se tenga suministro eléctrico posible.

Es un sistema sencillo y barato pero puede presentar algunos inconvenientes como la imposibilidad de limitar la temperatura máxima del fluido si hay mucha irradiación y poco consumo, la posibilidad de que el fluido circule en sentido contrario, etc. Suelen ser instalados en zonas muy cálidas y en sistemas pequeños.

Convección forzada: En esta ocasión, para producir el movimiento del fluido caloportador se hace uso de una bomba de circulación. El sistema de control actuará en la bomba en función de la diferencia de temperatura entre los puntos de mayor y



menor temperatura. Los sensores de temperatura se colocaran en la salida de los captadores (punto de mayor temperatura) y la parte baja del depósito (punto de menor temperatura).

Como inconveniente es obvio que el coste de la instalación será mayor, pero a cambio se obtiene mayor flexibilidad a la hora de colocar el depósito y la posibilidad de utilizar caudales de gran tamaño.

- Sistema de intercambio:

Sistema directo: En los sistemas directos el agua de consumo circula por los captadores solares, de aquí esta agua irá directa al depósito final de acumulación, y será de este depósito donde se extraiga el agua al circuito de consumo. Son sistemas sencillos pero presentan bastantes inconvenientes.

Primeramente deben garantizarse las condiciones sanitarias del agua de consumo. Además como esta agua posee mucho oxígeno es muy posible que se provoque la corrosión en el circuito primario.

Como al agua que pasa por los captadores no se le puede añadir anticongelantes, ya que será el agua final de consumo, se produce la congelación del agua en las tuberías.

En España este sistema solar está prohibido por el Código Técnico de la Edificación.

Sistema indirecto: En esta ocasión el circuito de consumo está separado del circuito primario o de captación. El fluido que circulará por el circuito primario será una mezcla de agua y glicol para reducir el punto de congelación. El fluido del circuito primario transfiere su calor al del circuito de consumo por medio de un intercambiador

de calor. Este intercambiador puede estar situado en el interior del acumulador o ser un elemento independiente.

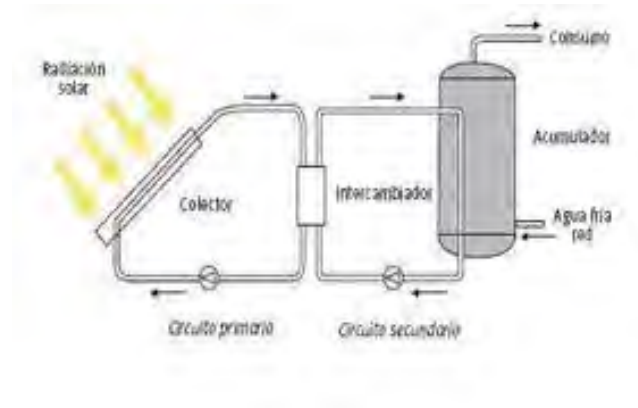


Ilustración 8. Sistema de intercambio indirecto con intercambiador de calor [7]

- Distribución de los componentes:

Hay sistemas integrados que poseen captadores que al mismo tiempo realizan la función de acumuladores.

En sistemas pequeños la configuración más extendida es la compacta. En estos sistemas, el acumulador y el captador están montados en una misma unidad (con separación física entre ellos). Si el sistema es indirecto el intercambiador será de los integrados en el acumulador, normalmente siendo un acumulador de doble envoltente.

En los sistemas de gran tamaño los elementos se encuentran con más separación entre ellos. Por ejemplo, los captadores es normal que estén situados en la cubierta del edificio pero el depósito y otros componentes pueden encontrarse en el interior del edificio para reducir así las pérdidas de calor. Es por ello que los circuitos suelen ser largos y se necesita usar la circulación forzada por medio de bombas para el movimiento del fluido.

- Ubicación del sistema de generación auxiliar:

En línea: En este tipo el generador auxiliar únicamente calienta el agua demandada desde la temperatura de salida del acumulador hasta la temperatura de consumo requerida. Se necesitan por ello calentadores de elevada potencia y rápidos ya que tienen que calentar el total de la demanda, siendo los de gas los más utilizados.

El agua del acumulador se sigue calentando gracias al calor proveniente de los captadores a través del circuito primario. Si la temperatura a su salida es suficiente el calentador no actuará; pero si es necesario un aporte adicional, con un juego de válvulas se hará recorrer el agua por el calentador que aportará calor en función de las necesidades.

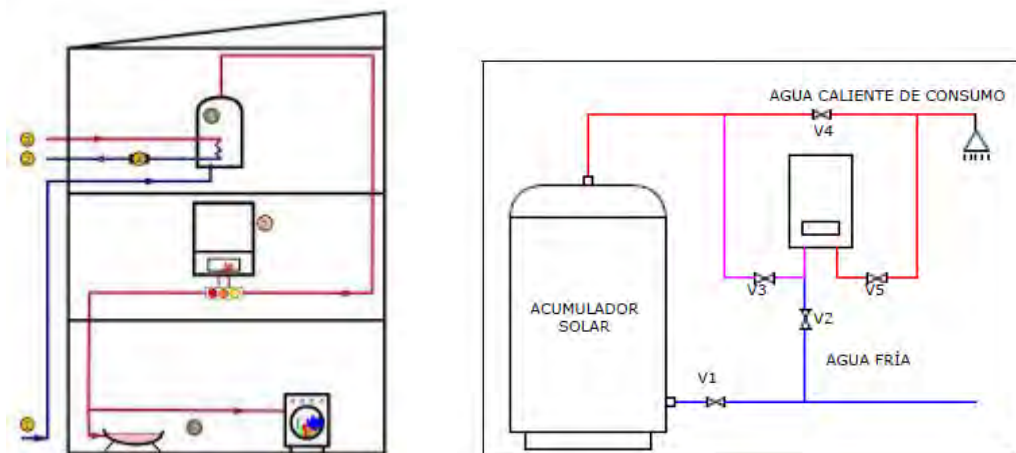


Ilustración 9. Sistema auxiliar en línea [8]

Sistema auxiliar en acumulador secundario: En este sistema poseemos dos acumuladores. Uno es el solar cuyo funcionamiento ya conocemos y en serie con éste dispondremos de otro acumulador, conectado a un sistema de generación auxiliar convencional.

Este método nos permitirá un buen ajuste de la temperatura del agua de consumo, así como la disposición de todo el volumen de agua almacenada.

Como inconveniente aparte de incrementar el coste del sistema y el volumen de ocupación el calor del acumulador solar sólo se transferirá cuando hay consumo de agua caliente, por lo que no permite cubrir con el calor solar las pérdidas térmicas en el acumulador convencional y en las tuberías.

Sistema auxiliar en acumulador solar: Muy común en instalaciones de pequeño tamaño. Se utiliza un único acumulador solar denominado bivalente. En la parte inferior se realiza el intercambio entre el circuito primario y el secundario, mientras que en la parte alta se almacena el agua puesta a disposición para el consumo, cuya temperatura se ajustara a las condiciones requeridas mediante una caldera convencional acoplada a él.

El calentamiento del agua de la parte superior del acumulador debe ser moderado, ya que si se calienta el agua de la parte inferior se desaprovechará y se reducirá el rendimiento de los captadores solares, frente a un mayor gasto en combustible.

Sin embargo el Código Técnico de Edificación prohíbe este sistema por este último inconveniente, dando prioridad al aprovechamiento solar. Es una opción muy utilizada en otros países con peores condiciones climáticas para el aprovechamiento de la energía solar.

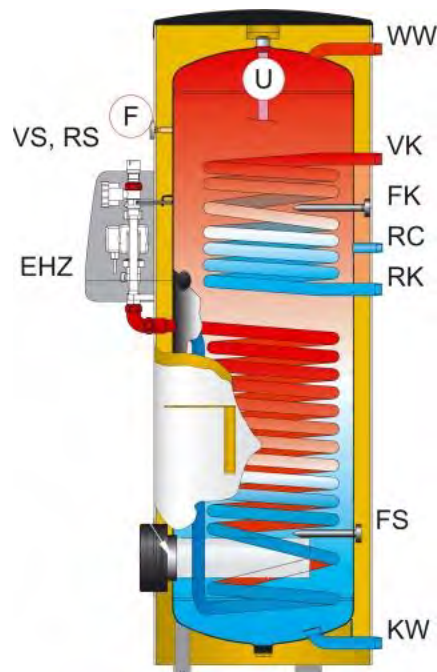


Ilustración 10. Sistema auxiliar acoplado al acumulador

- Grado de descentralización en edificios residenciales multifamiliares:

Acumulación centralizada y sistema auxiliar centralizado: En este tipo de instalación el agua de consumo es calentada en un acumulador central. El generador de apoyo también estará centralizado con varias configuraciones diferentes posibles: sistema auxiliar directo sobre el mismo acumulador solar (no permitido por el CTE); generador auxiliar actuando sobre otro acumulador secundario o generador auxiliar en línea. Se recomienda este tipo de sistema cuando en el edificio ya existe una caldera central convencional.

La principal ventaja de este sistema es que se reducen notablemente las pérdidas, al ser un único acumulador y no varios.

El principal inconveniente al tener el sistema auxiliar centralizado actuando sobre un acumulador es que no responde directamente a la demanda, lo cual puede ser solucionado con un generador auxiliar central en línea, que caliente el agua demandada en cualquier punto de la instalación.

Recaltar que debido a que la distribución desde el generador auxiliar al punto de consumo puede ser larga se necesitará un buen aislamiento.

Acumulación centralizada y sistema auxiliar distribuido: Ésta es la configuración más habitual. El acumulador está conectado con un circuito de distribución principal con recirculación, para mantener una temperatura adecuada.

Desde este acumulador se repartirán al edificio todas las conducciones del agua de consumo. En cada conducción individual ya dentro de cada vivienda dispondremos del sistema de generación auxiliar. Este sistema auxiliar será dispuesto en línea, de forma que únicamente necesitará calentar la temperatura de salida del acumulador a la temperatura final de consumo.

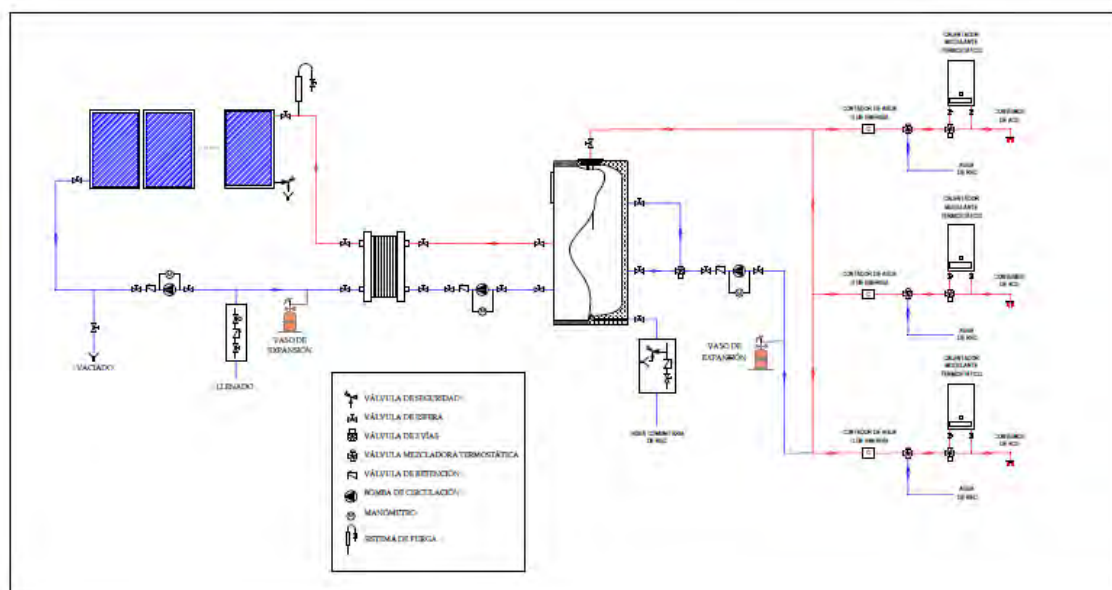


Ilustración 11. Acumulación solar centralizada [9]

El sistema de acumulación solar común implica que el calor gratuito se comparte entre todos los vecinos, por lo que los excesos de unas viviendas repercutirán en otras. Para poder controlar esto deberemos incluir contadores individuales de agua caliente solar en cada vivienda.

Acumulación distribuida y sistema auxiliar distribuido: En esta ocasión lo único que será común será el sistema de captación; habrá un acumulador y un sistema auxiliar de calor por vivienda.

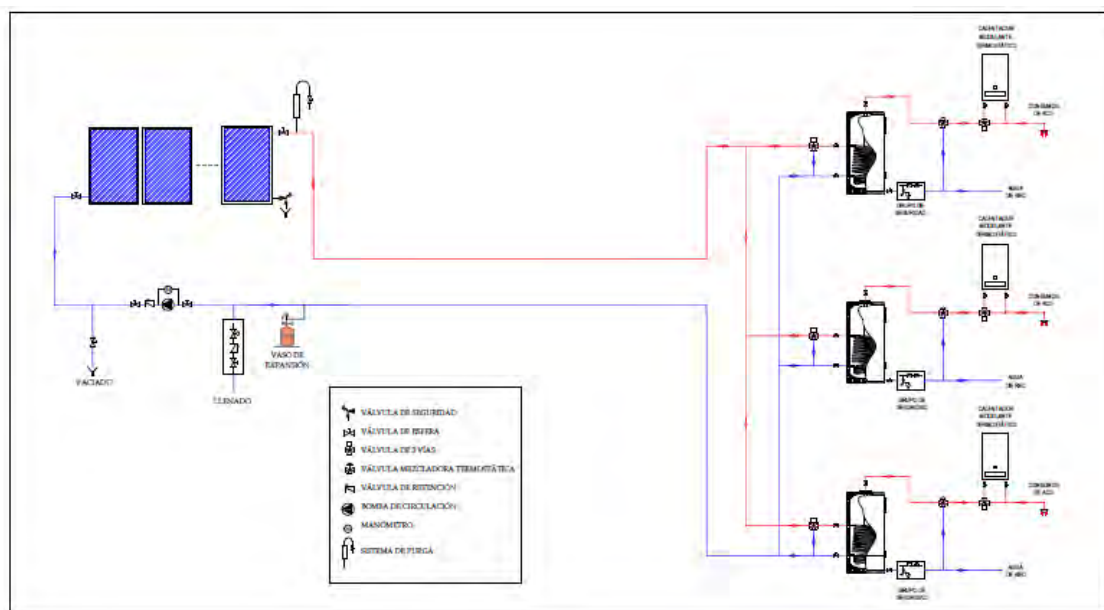


Ilustración 12. Acumulación solar distribuida [10]

A esta solución se suele recurrir cuando no hay el espacio necesario común para un acumulador grande o las condiciones constructivas no son ideales para soportar su peso. Como punto a favor no se necesitará disponer de contadores individuales, ya que será cada vecino quien haga valoración de la utilización de los recursos que posee. Pese a esto se tienen varios inconvenientes, como son las evidentes pérdidas de carga y el diseño del sistema de distribución que se vuelve más complejo, debido a que las temperaturas de salida de los acumuladores (foco frío) difiere de unas viviendas a otras.

La eficiencia de los acumuladores pequeños es inferior a la de uno único central.

Se puede realizar un segundo modelo en el que existe un intercambiador de calor central, lo que creamos tres circuitos: el primario por el que circula el fluido con anticongelante y que recibe la aportación de energía del sol, el circuito secundario por el que circulará ya agua aunque no será la final de consumo y por último el circuito terciario o de consumo.

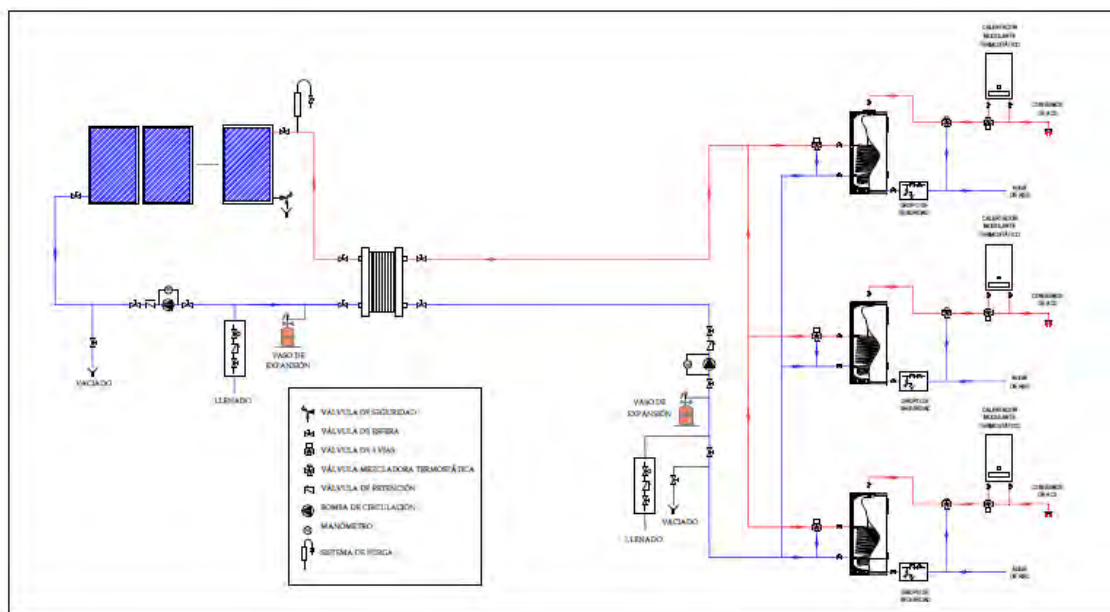


Ilustración 13. Acumulación solar distribuida (II) [11]

El principal problema de este sistema es que si no existe demanda en el circuito de consumo no se produce intercambio, lo que lleva a grandes problemas de sobrecalentamiento. Si no se pudiera disponer de un depósito de acumulación de inercia (ya que se recurriría a este circuito por la imposibilidad de espacio) la única solución a estos excedentes de energía sería instalar un disipador de calor en el circuito primario, acarreado eso sí un gasto energético importante.

Acumulación solar mixta (central + distribuida) con sistema auxiliar descentralizado: La solución intermedia entre los dos sistemas anteriores es utilizar un



acumulador solar central, del que partirá una línea de distribución a las viviendas. En cada una de las viviendas se dispondrá de un acumulador secundario para suministrar el agua de demanda con un determinado nivel de reserva. De este acumulador parte la línea de consumo sobre la que actúa el aporte auxiliar, en caso de que fuera necesario, hasta alcanzar la temperatura de consumo.

Al ser el circuito secundario cerrado, el depósito acumulador central no necesitará de tratamiento antilegionela al no existir posibilidad de la presencia de oxígeno.

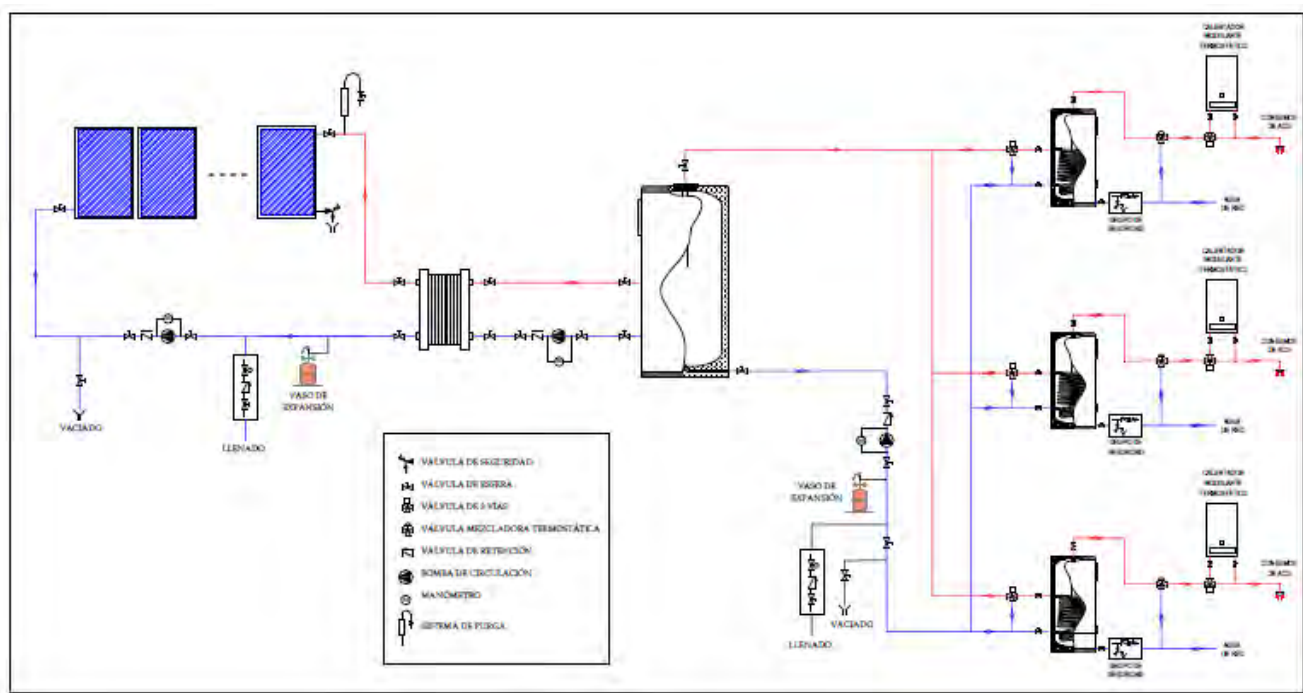


Ilustración 14. Acumulación solar combinada, distribuida + centralizada [12]



## 4. DETALLES DEL EDIFICIO

## 4. Detalles del edificio

El edificio está situado en la localidad de Colmenar Viejo (Madrid) y consta de 55 viviendas. De ellas 15 viviendas son de 2 dormitorios, 10 viviendas de 3 dormitorios y 30 viviendas de 4 dormitorios. Las viviendas se distribuyen en 7 pisos distintos, lo que aporta al edificio una altura total de 21 metros.

A continuación se muestra una imagen del plano de la cubierta del edificio:

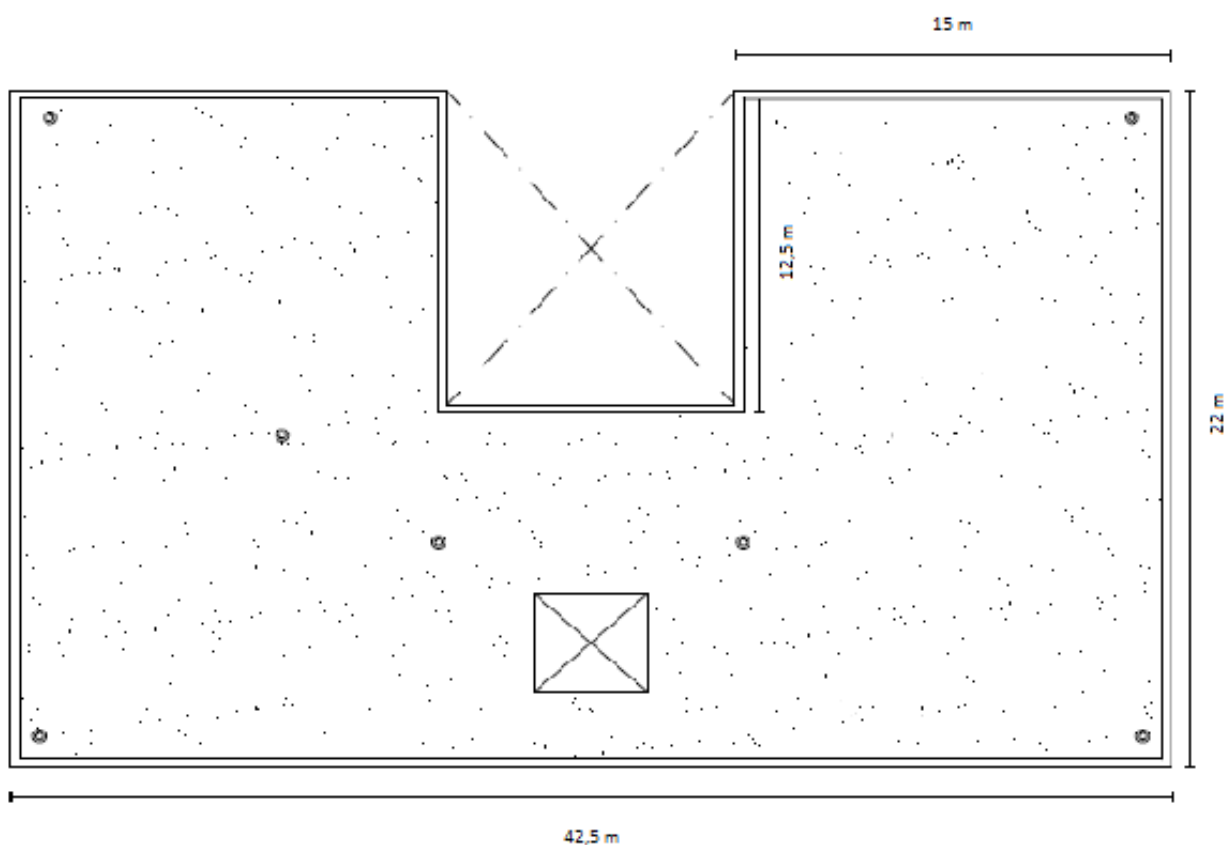


Ilustración 15. Fachada del edificio

# 5. CÁLCULO CAPTADORES SOLARES

## 5. Cálculo captadores solares

El propio CTE no indica el método a emplear, sino que únicamente señala que en la memoria del proyecto se establecerá el método de cálculo, especificando, al menos en base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y de la contribución solar.

Asimismo, el método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales definidas por [13]:

- a) La demanda de energía térmica;
- b) La energía solar térmica aportada;
- c) Las fracciones solares mensuales y anuales;
- d) El rendimiento medio anual.

Los requisitos básicos relacionados directamente con el dimensionado y que se deben cumplir son [14]:

- Cumplimiento de la contribución solar mínima en función de la zona climática, de la demanda de ACS y del tipo de generación auxiliar.
- Ningún mes del año la energía producida por la instalación solar debe superar el 110% del consumo estimado y no más de 3 meses el 100%.
- En una instalación de energía solar, el rendimiento del captador, independientemente de la aplicación y la tecnología usada, debe ser siempre igual o superior al 40%.

Se han desarrollado métodos de cálculo con un número de parámetros reducido que facilita enormemente la tarea del diseñador. Uno de los métodos de

mayor implantación, y también recomendado por el Pliego del IDAE, y el que será utilizado en el presente proyecto es el llamado método f-Chart.

### 5.1 Determinación de la demanda energética de A.C.S

Para valorar la demanda se tomarán los valores unitarios que aparecen recomendados en el CTE para viviendas: 28 litros por día/persona (Demanda de referencia a 60 °C).

Demanda ACS		
Criterio de la demanda	Litros/día unidad	Unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y Clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/Hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/Pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Tabla 2. Demanda ACS por tipo de edificio [15]

Se supone la temperatura final de acumulación TACS=60°C.

Se utilizarán como mínimos los valores recomendados por el CTE DB HE4 sobre el grado de ocupación por defecto:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla 3. Grado ocupación por defecto [16]

El edificio está provisto de 15 viviendas de 2 dormitorios, 10 viviendas de 3 dormitorios y 30 viviendas de 4 dormitorios, por lo que el consumo total de la vivienda estipulado es el siguiente:

Nº viviendas 2 dormitorios	15
Nº personas por vivienda	3
Nº viviendas 3 dormitorios	10
Nº personas por vivienda	4
Nº viviendas 4 dormitorios	30
Nº personas por vivienda	5
Nº total de residentes	235
Consumo por persona	28 l/día
Consumo total de ACS (Ddía)	6580 l/día
	6,58 m3/día

Tabla 4. Cálculo demanda para el edificio

Aplicando el factor de centralización correspondiente al edificio obtenido de la tabla 5, el consumo total de ACS queda:

$$6580 \text{ l/día} \times 0,80 = 5264 \text{ l/día}$$

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Tabla 5. Factor de centralización por número de viviendas [17]

Para calcular la demanda energética total, se deben conocer los valores de temperatura media del agua de la red.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Álava	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Albacete	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Alicante	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Almería	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Asturias	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Ávila	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
Badajoz	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Baleares	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Barcelona	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Burgos	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
Cáceres	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Cádiz	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Cantabria	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Castellón	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Ceuta	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11.3
Ciudad Real	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Córdoba	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
La Coruña	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Cuenca	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
Gerona	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Granada	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Guadalajara	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Guipúzcoa	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Huelva	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Huesca	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Jaén	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12.3
León	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
Lérida	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Lugo	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Madrid	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Málaga	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Mejilla	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Murcia	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Navarra	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Orense	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.2
Palencia	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Las Palmas	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Pontevedra	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
La Rioja	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Salamanca	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
S. C. Tenerife	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Segovia	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
Sevilla	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Soria	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
Tarragona	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Teruel	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
Toledo	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Valencia	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Valladolid	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Vizcaya	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Zamora	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Zaragoza	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3

Tabla 6. Temperatura media agua de la red en España [18]

La localidad en la que el edificio está situado no coincide con la capital de provincia por lo que se corregirá la temperatura de agua fría diaria media (TafY) según la temperatura de la capital de provincia (TafCP) y la diferencia de altura con respecto



a ésta ( $Az = \text{Altura de la localidad} - \text{Altura de la capital de provincia}$ ) mediante la expresión recomendada por el CTE DB HE4:

$$TafY = TafCP - B \cdot Az$$

Donde:

$B = 0,0066$  para los meses de octubre a marzo

$B = 0,0033$  para los meses de abril a septiembre

- Altura de Madrid: 655 m sobre el nivel del mar
- Altura de Colmenar Viejo: 883 m sobre el nivel del mar
- $Az = 883 - 655 = 228$

<u>Mes</u>	<u>TafCP</u>	<u>B</u>	<u>Tafy</u>
<b>Enero</b>	7	0,0066	<b>5,50</b>
<b>Febrero</b>	7	0,0066	<b>5,50</b>
<b>Marzo</b>	9	0,0066	<b>7,50</b>
<b>Abril</b>	11	0,0033	<b>10,25</b>
<b>Mayo</b>	12	0,0033	<b>11,25</b>
<b>Junio</b>	13	0,0033	<b>12,25</b>
<b>Julio</b>	14	0,0033	<b>13,25</b>
<b>Agosto</b>	13	0,0033	<b>12,25</b>
<b>Septiembre</b>	12	0,0033	<b>11,25</b>
<b>Octubre</b>	11	0,0066	<b>9,50</b>
<b>Noviembre</b>	9	0,0066	<b>7,50</b>
<b>Diciembre</b>	6	0,0066	<b>4,50</b>

Tabla 7. Temperatura del agua de la red para Colmenar Viejo

La demanda energética mensual se obtendrá como:

$$DE_{mes,i} \left( \frac{kWh}{mes} \right) = 1,16 \times 10^{-3} \cdot D_{día} \cdot N_{días,i} \cdot C_p \cdot \rho \cdot (T_{ACS} - T_{red,i})$$

Siendo:

$$C_p = 1 \text{ kcal/kg.}^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Se obtiene, por lo tanto:

MES	TRED	DÍAS	D DÍA(M <sup>3</sup> /DÍA)	D MES (M <sup>3</sup> /MES)	D (KWH/MES)
ENERO	5,50	31	5,26	163,06	14218,83
FEBRERO	5,50	28	5,26	147,28	12842,82
MARZO	7,50	31	5,26	163,06	13697,04
ABRIL	10,25	30	5,26	157,8	12560,88
MAYO	11,25	31	5,26	163,06	12718,68
JUNIO	12,25	30	5,26	157,8	12055,92
JULIO	13,25	31	5,26	163,06	12196,89
AGOSTO	12,25	31	5,26	163,06	12457,78
SEPTIEMBRE	11,25	30	5,26	157,8	12308,4
OCTUBRE	9,50	31	5,26	163,06	13175,25
NOVIEMBRE	7,50	30	5,26	157,8	13255,2
DICIEMBRE	4,50	31	5,26	163,06	14479,73
AÑO					155967,4

Tabla 8. Cálculo de la demanda de la potencia necesaria

La contribución solar mínima a ésta energía requerida depende directamente de la zona climática a estudio, la demanda del edificio y el tipo de aporte auxiliar:

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
>10.000	30	50	60	70	70

Tabla 9. Contribución solar mínima por zona climática en España [19]

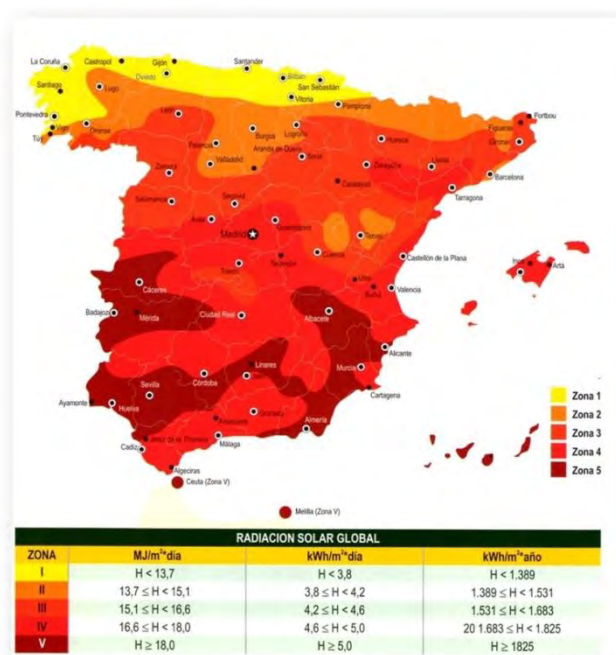


Ilustración 16. Zonas climáticas de España [20]

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual para ACS, obtenidos a partir de los valores mensuales.

Las condiciones del presente proyecto es un aporte auxiliar convencional; con un acumulador centralizado y en cada vivienda particular la caldera auxiliar; la zona climática corresponde a la zona IV y el consumo anteriormente calculado está en el rango entre 5000-10000 l/d, por lo tanto el 60% de la energía que se necesita para el A.C.S será aportada por el sistema solar térmico, cuyo valor es:

$$155967,4 \times 0,60 = 93580,44 \text{ KWH/AÑO}$$

## 5.2 Radiación solar incidente sobre el plano de los captadores

Se necesita saber la influencia de la radiación solar en la zona a estudio para poder calcular la energía generada y transferida al agua de consumo por los captadores; y así el número de captadores que se necesita para cubrir la demanda.

MES	<i>kwh/m<sup>2</sup>día (<math>G_{di}(0^\circ)</math>)</i>
<b>Enero</b>	2,07
<b>Febrero</b>	3,15
<b>Marzo</b>	4,48
<b>Abril</b>	5,68
<b>Mayo</b>	6,58
<b>Junio</b>	7,71
<b>Julio</b>	7,98
<b>Agosto</b>	6,97
<b>Septiembre</b>	5,37
<b>Octubre</b>	3,58
<b>Noviembre</b>	2,37
<b>Diciembre</b>	1,91

Tabla 10. Radiación solar en Madrid [21]

Estos datos obtenidos son para una superficie horizontal pero los captadores utilizados en este trabajo tienen una cierta inclinación respecto a la horizontal. Este valor está recomendado que la inclinación de los captadores sea la misma que la latitud de dónde van a estar situados. En este caso Colmenar Viejo está situado en latitud del hemisferio norte  $40^\circ$ . Para relacionar estos valores de radiación solar en superficie horizontal con los de una superficie inclinada se recurre a la siguiente expresión:

$$G_{di}(\beta) = k \cdot G_{di}(0^\circ)$$

Dónde  $G_{di}(\beta)$  es la media de radiación solar diaria incidente en el mes  $i$  sobre una superficie de inclinación  $\beta$  ;  $k$  es un factor de corrección cuyo valor se toma de las tablas proporcionadas por el IDAE:

Latitud	Inclinación	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0	5	1,07	1,06	1,05	1,03	1,02	1,01	1,02	1,03	1,05	1,08	1,09	1,09
0	10	1,14	1,11	1,08	1,05	1,03	1,02	1,03	1,06	1,10	1,14	1,17	1,16
0	15	1,20	1,16	1,12	1,07	1,03	1,02	1,04	1,08	1,14	1,21	1,25	1,24
0	20	1,25	1,20	1,14	1,08	1,03	1,02	1,03	1,09	1,17	1,26	1,32	1,30
0	25	1,30	1,23	1,16	1,08	1,02	1,00	1,02	1,09	1,19	1,30	1,38	1,36
0	30	1,34	1,26	1,17	1,07	1,01	0,98	1,01	1,09	1,20	1,34	1,43	1,41
0	35	1,37	1,28	1,17	1,06	0,98	0,95	0,98	1,07	1,21	1,37	1,47	1,45
0	40	1,39	1,29	1,16	1,04	0,95	0,92	0,95	1,05	1,21	1,39	1,50	1,48
0	45	1,40	1,29	1,15	1,01	0,91	0,88	0,92	1,03	1,20	1,39	1,52	1,50
0	50	1,41	1,28	1,13	0,98	0,87	0,83	0,87	0,99	1,18	1,39	1,54	1,52
0	55	1,40	1,27	1,10	0,94	0,82	0,78	0,82	0,95	1,11	1,38	1,54	1,52
0	60	1,39	1,24	1,07	0,89	0,77	0,72	0,77	0,90	1,12	1,36	1,53	1,51
0	65	1,37	1,21	1,03	0,84	0,71	0,66	0,71	0,85	1,07	1,34	1,51	1,50
0	70	1,34	1,17	0,98	0,78	0,64	0,59	0,64	0,79	1,02	1,30	1,49	1,47
0	75	1,30	1,13	0,92	0,72	0,57	0,52	0,57	0,73	0,97	1,25	1,45	1,44
0	80	1,25	1,08	0,86	0,65	0,50	0,45	0,50	0,66	0,90	1,20	1,41	1,40
0	85	1,20	1,02	0,80	0,58	0,43	0,37	0,42	0,58	0,84	1,14	1,35	1,35
0	90	„14	0,95	0,73	0,50	0,35	0,29	0,34	0,50	0,76	1,07	1,29	1,29

Tabla 11. Factor de cálculo para radiación sobre superficie inclinada [22]

Para este caso se toman en principio los valores de  $k$  para una inclinación de captador de  $10^\circ$  más de la latitud (es decir  $50^\circ$ , lo que ayudará a la aportación de la radiación sobre todo en invierno, la óptima para el verano sería de  $40^\circ$ ) para cada mes y se obtiene a continuación la energía solar mensual incidente,  $El_{mes,i}$ :

$$El_{mes,i} = G_{di}(\beta) \cdot N_{días,mes}$$

Mes	K	$G_{di}(0^\circ)$	$G_{di}(\beta)$	$N_{días,mes}$	$EI_{mes,i}$
Ene	1,41	2,07	2,0016	31	<b>62,04</b>
Febr	1,28	3,15	2,7477	28	<b>76,93</b>
Mar	1,13	4,48	3,5728	31	<b>110,7</b>
Abr	0,98	5,68	3,952	30	<b>118,5</b>
May	0,87	6,58	4,085	31	<b>126,6</b>
Jun	0,83	7,71	5,198	30	<b>155,9</b>
Jul	0,87	7,98	5,9375	31	<b>184,0</b>
Ago	0,99	6,97	5,3865	31	<b>166,9</b>
Sept	1,18	5,37	4,8037	30	<b>122,5</b>
Oct	1,39	3,58	3,1692	31	<b>98,24</b>
Nov	1,54	2,37	2,265	30	<b>67,95</b>
Dic	1,52	1,91	1,628	31	<b>50,46</b>

Tabla 12. Energía solar incidente por mes en los captadores

### 5.3 Método f-chart

El proceso de dimensionado de la instalación parte de los datos de la energía demandada antes expuesta, de las condiciones climáticas y de los parámetros básicos de los captadores y demás elementos fundamentales del sistema. Con esta información se aplica el método con un número de captadores concreto y se estima la contribución solar y el rendimiento. Se reajusta el número de captadores hasta que se alcanzan los valores requeridos de contribución solar.

El método f-Chart fue elaborado en 1973 por los profesores Klein, Beckman y Duffie y desarrollado en años posteriores (Duffie y Beckman, 1980), en los que se ha convertido en el de más amplia aplicación en todo el mundo. [23]

Es un método destinado a estimar las principales variables de funcionamiento de la instalación en períodos de tiempo largos, no siendo válido para el análisis

instantáneo ni diario. Un estudio operativo instantáneo sólo se podrá hacer aplicando condiciones particulares de operación a una instalación ya diseñada.

El método f-chart permite realizar el cálculo de la contribución solar de un sistema y de su rendimiento medio, a partir de valores medios mensuales de las diferentes variables estudiadas (demanda de agua, temperatura de agua de red, radiación solar y temperatura ambiente media durante el día).

Se definen dos parámetros adimensionales D1 y D2, relacionados con la energía absorbida por los captadores y con la energía perdida, respectivamente. Estos parámetros sirven para el cálculo de la fracción solar mensual  $f_{mes}$  mediante la siguiente expresión empírica:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

El parámetro D1 expresa la relación entre la energía absorbida por el captador y la demanda energética mensual del sistema,  $DE_{mes}$ , ya tratada en apartados anteriores. El parámetro D2 expresa la relación entre las pérdidas de energía del captador, para una determinada temperatura y esa misma demanda energética mensual del sistema.

Ambos parámetros deben calcularse para cada mes del año.

Así:

$$D_1 = \frac{E_{absorbida}}{DE_{mes}} = \frac{S_C \cdot \eta_0 \cdot MAI \cdot FC_{int} \cdot G_{dm} \cdot N_{días,mes}}{DE_{mes}}$$

La energía absorbida por mes por el sistema de captación se obtiene a partir de la irradiación solar diaria de ese mes para la orientación e inclinación de los captadores,  $G_{dm}$ , por el número de días,  $N_{días,mes}$ , que incide sobre una superficie de captadores  $SC$ . Este producto representa la energía mensual incidente, que debe

corregirse con el Modificador del Ángulo de Incidencia, MAI, con el parámetro de rendimiento óptico del captador, y, finalmente, con un factor de corrección del conjunto captador-intercambiador,  $FC_{int}$ , para el que el Pliego del IDAE recomienda tomar un valor de 0,95.

La superficie de captadores,  $S_C$ , se asocia con el área de apertura de cada captador, multiplicada por el número de equipos a instalar.

El parámetro adimensional asociado a las pérdidas del captador se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$D_2 = \frac{E_{perdida}}{DE_{mes}} = \frac{S_C \cdot K_{global} \cdot FC_{int} \cdot (100 - T_{amb}) \cdot FC_{acum} \cdot FC_{ACS} \cdot 24 \cdot N_{días,mes}}{DE_{mes}}$$

El parámetro  $K_{global}$  es el coeficiente global de pérdidas, obtenido de las curvas características de rendimiento en aproximación lineal del captador seleccionado.

Además, se aplican dos factores de corrección, uno para el acumulador,  $FC_{acum}$ , y otro por temperatura del agua,  $FC_{ACS}$ . Para estos dos parámetros el Pliego del IDAE propone unas ecuaciones empíricas, que se muestran a continuación.

$$FC_{acum} = \left( \frac{V_{acum-solar} / S_c}{75 l / m^2} \right)^{-0.25}$$

Con una relación entre el volumen de acumulador y superficie de captadores que el CTE DB HE4 indica que se deberá situar entre:

$$50 l / m^2 < \frac{V_{acum-solar}}{S_c} < 180 l / m^2$$



El CTE da preferencia a la acumulación centralizada frente a la descentralizada, sin embargo, la tendencia actual en el mundo de la construcción es la individualización de los sistemas (excepto los captadores), para evitar posibles recelos entre propietarios en cuanto a los consumos de cada uno de los vecinos.

Se tomará como dato de referencia para el cálculo del método f-chart un acumulador de volumen cercano al consumo de ACS diario *de 5264l*, debiendo adaptarlo a las medidas comerciales existentes en el mercado y a su coste. Se instalará un acumulador colectivo parcial y acumuladores individuales en cada vivienda en función de su tamaño y consumo previsto. Sobre estos acumuladores, ya de ACS, actúan los sistemas auxiliares cuando sea necesario. En el caso para las viviendas de 2,3 y 4 dormitorios irán acumuladores de 50, 75 y 100 L correspondientemente; mientras que el acumulador central de inercia tendrá un volumen de 1500 L. Esto hace un total para el cálculo del método de 6500 L.

Un criterio adicional de ajuste en el dimensionado del acumulador se puede establecer en función del desfase entre el momento de generación del calor y el del consumo. Si este desfase es breve, es decir, si el consumo se realiza fundamentalmente durante el día, cabe seleccionar un depósito en la zona inferior del rango admisible. Por el contrario, si el desfase es mayor, en horas o más de un día conviene incrementar el volumen.

El valor del volumen de acumulación influye sobre el cálculo de la fracción solar, aunque en menor proporción que la superficie o número de captadores, pero aun así se variará este valor para conseguir las condiciones que impone el CTE.

El factor de corrección por temperatura se calcula como:

$$FC_{ACS} = \frac{11,6 + 1,18T_{ACS,min} + 3,86T_{red} - 2,32T_{amb}}{100 - T_{amb}}$$

Este último parámetro corrector, FCACS, relaciona la temperatura mínima de ACS, establecida en 60º C, la temperatura del agua de red y la temperatura ambiente.

Una vez calculada la fracción solar mensual, se obtiene la energía solar útil aportada como:

$$EU_{solar,mes} = f_{mes} \cdot DE_{mes}$$

Si se realiza el mismo cálculo para cada mes del año, finalmente se obtiene la fracción solar anual, que es la que evalúa el CTE DB HE4 como contribución solar mínima:

$$f = \frac{\sum_{mes=1}^{12} EU_{solar,mes}}{\sum_{mes=1}^{12} DE_{mes}}$$

Además de esta fracción solar anual que se obtiene al aplicar el método de dimensionado del sistema, debe tenerse en cuenta también la evolución mensual de la aportación solar calculada. Al respecto, el CTE DB HE4 indica que con independencia del uso al que se destine la instalación, en el caso de que en algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110 % de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 %, deben adoptarse cualquiera de las siguientes medidas [24]:

- a) Dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario)
- b) Tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador)



- c) Vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares debiendo incluirse este trabajo entre las labores del contrato de mantenimiento.
- d) Desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.

Las dos opciones intermedias sólo se recomiendan cuando existe un servicio de mantenimiento permanente en el lugar. Si no es así, es recomendable aplicar el desvío de los excedentes a otros usos y, si no se dispone de los medios para ello, recurrir a la recirculación o disipación del calor.

En realidad, la necesidad de aplicar una o varias de estas medidas por exceso de generación no se pueden evaluar en esta evolución mensual de la fracción solar, ya que, una vez en operación, las condiciones iniciales de diseño varían enormemente.

Así, tanto el consumo esperado como la radiación incidente pueden variar, por lo que siempre deben disponerse las medidas de protección y control de la instalación. Los resultados mensuales del diseño sí ofrecen, sin embargo, una primera idea de las condiciones de funcionamiento del sistema.

En el caso de ocupaciones parciales de instalaciones de uso residencial turístico, se deben detallar los motivos, modificaciones de diseño, cálculos y resultados tomando como criterio de dimensionado que la instalación deberá aproximarse al máximo al nivel de contribución solar mínima.

El dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética y en no más de tres meses el 100 % y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los

cuales la demanda energética se sitúe un 50 % por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección.

Por último, junto a la fracción solar, debe calcularse el rendimiento medio anual de la instalación, tal y como prescribe el CTE. Se obtiene como el cociente entre la energía solar útil aportada al agua y la radiación solar incidente sobre los captadores, multiplicada por la superficie de captación.

Se puede calcular en valores mensuales o en media anual:

$$\eta_{sistema,mes} = \frac{EU_{solar,mes}}{S_C \cdot G_{dm} \cdot N_{días,mes}}$$

$$\eta_{sistema,año} = \frac{\sum_{mes=1}^{12} EU_{solar,mes}}{\sum_{mes=1}^{12} S_C \cdot G_{dm} \cdot N_{días,mes}}$$

El CTE DB HE4 señala que en una instalación de energía solar, el rendimiento del captador, independientemente de la aplicación y la tecnología usada, debe ser siempre igual o superior al 40%.

Adicionalmente se deberá cumplir que el rendimiento medio dentro del periodo al año en el que se utilice la instalación, deberá ser mayor que el 20 %.

Las aplicaciones informáticas de diseño de instalaciones se basan en una hoja de cálculo f-chart sobre la que programan las expresiones anteriores. Tras seleccionar varios modelos de captadores solares a estudiarlos cuales poseen diferentes características básicas, área de apertura, rendimiento óptico, coeficiente global de pérdidas, etcétera; se crea un Excel con las expresiones necesarias en las que se aumenta o se reduce el número de captadores, su inclinación y el volumen de acumulación hasta ajustar la contribución solar a lo exigido. Los captadores del mercado a estudiar con las respectivas características que influirán son los siguientes:



**Solaria - 2.4 AL S8:**

Área de apertura: 2,17

Rendimiento óptico: 0,7296

K global: 0,00251

**Heliostar 252 S4 steck:**

Área de apertura: 2,28

Rendimiento óptico: 0,771

K global: 0,00368

**Vitosol 10:**

Área de apertura: 2,5

Rendimiento óptico: 0,808

K global: 0,0032

**Solario-2.8 AL S8:**

Área de apertura: 2,58

Rendimiento óptico: 0,808

K global: 0,0032

El resultado obtenido para los diferentes captadores es el siguiente:

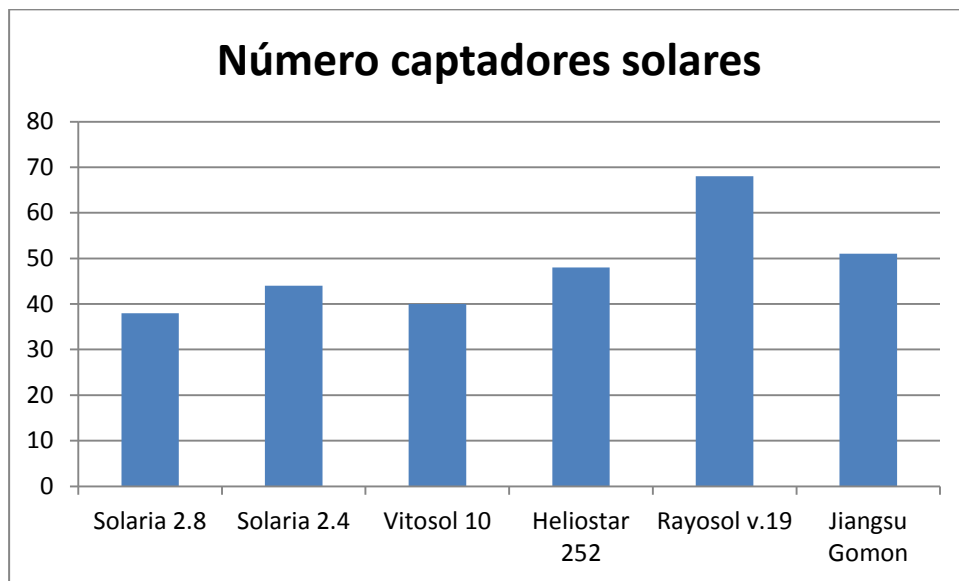


Ilustración 17. Número de captadores solares necesarios

Pero puesto que pese a que tienen diferentes características también poseen diferentes dimensiones, se realiza la selección en función de la mínima superficie necesaria para el sistema:

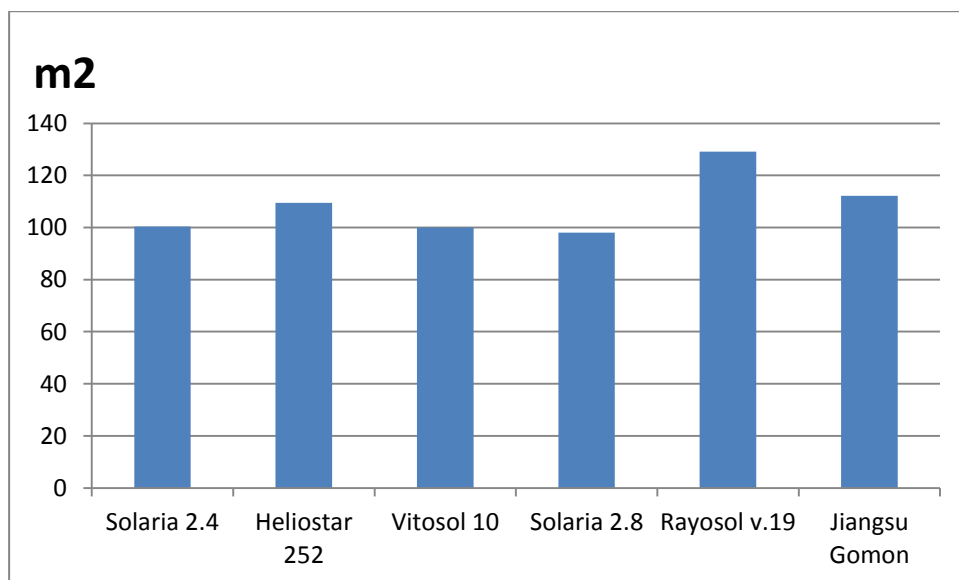


Ilustración 18. Metros cuadrado por tipo de captador

En la gráficas se representan el número de captadores necesarios para cumplir la normativa así como el área que representaría de instalación de cada uno como el

volumen de acumulador que necesitarían. Por ello se elige el captador solar Solaria 2.8 cuya área final es menor que en el de otros casos. Aun así no se colocará el límite de captadores mínimo necesario, se utilizarán 40 captadores dando un pequeño margen. Se puede observar aun así que efectivamente ningún mes supera el 110% de aporte solar y no más de tres el 100% y los rendimientos mensualmente en las siguientes gráficas:

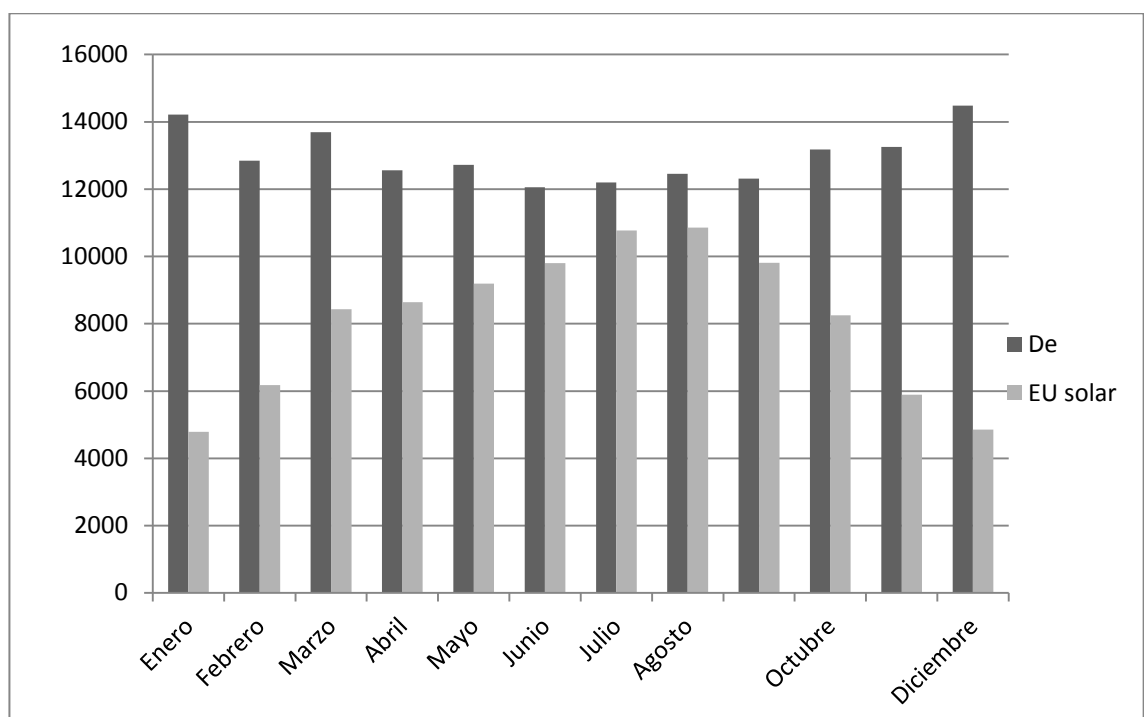


Ilustración 19. Demanda y aporte solar por mes

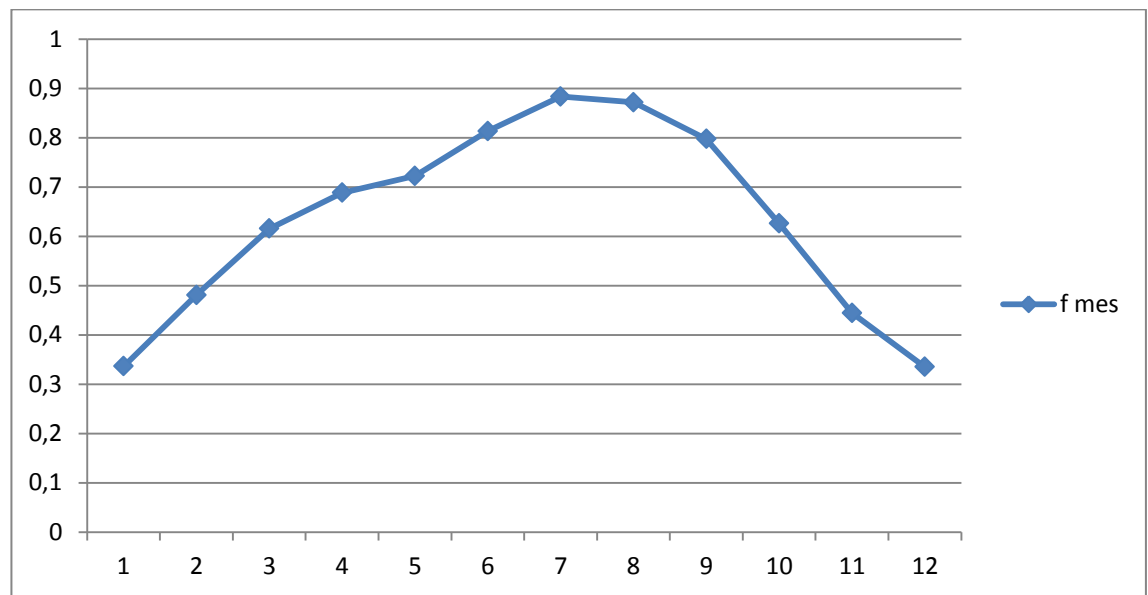


Ilustración 20. Aporte mensual obtenido

El rendimiento de los captadores es del 50%, por lo que es mayor que el 40% exigido y el aporte anual obtenido es mayor del 60% (un 62,8% exactamente), que era el porcentaje requerido correspondiente para la zona solar y la demanda diaria.

### 5.5 Calculo de las pérdidas por orientación e inclinación

Se debe determinar los límites en la orientación e inclinación de los captadores de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles. El efecto de una posición óptima ya se ha tenido en cuenta en el dimensionado, puesto que los datos de radiación incidente,  $G_{dm}$ , empleados en el cálculo de la energía solar absorbida, deben ser los obtenidos para la orientación e inclinación real de los captadores.

Sin embargo, para que una ubicación de los captadores sea autorizada deben cumplirse unos requisitos adicionales sobre límites admisibles de pérdidas.



El CTE DB HE4 establece que la orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla siguiente:

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
<b>General</b>	10%	10%	15%
<b>Superposición</b>	20%	15%	30%
<b>Integración arquitectónica</b>	40%	20%	50%

Tabla 13. Límites de pérdida [25]

Se diferencian tres casos: general, superposición de módulos e integración arquitectónica. Se considera que existe integración arquitectónica cuando los módulos cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica.

Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal con el fin de favorecer la auto-limpieza de los módulos.

En ejemplo más habitual del caso general, el caso del presente proyecto, es la colocación de los captadores sobre una azotea horizontal.

Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

En todos los casos se han de cumplir las tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores obtenidos con orientación e inclinación óptimas y sin sombra alguna.

Se observa en la tabla 13 cómo los valores de sombras totales son inferiores, para cada caso, a la suma de las sombras de posición y de sombreado. Es decir, no se admite un máximo de sombras en ambos conceptos, ya que entonces la total superaría los límites admisibles.

Las pérdidas por el concepto de orientación e inclinación se calcularán en función de:

- Ángulo de inclinación,  $\beta$ , definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal
- Ángulo de azimut,  $\alpha$ , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar

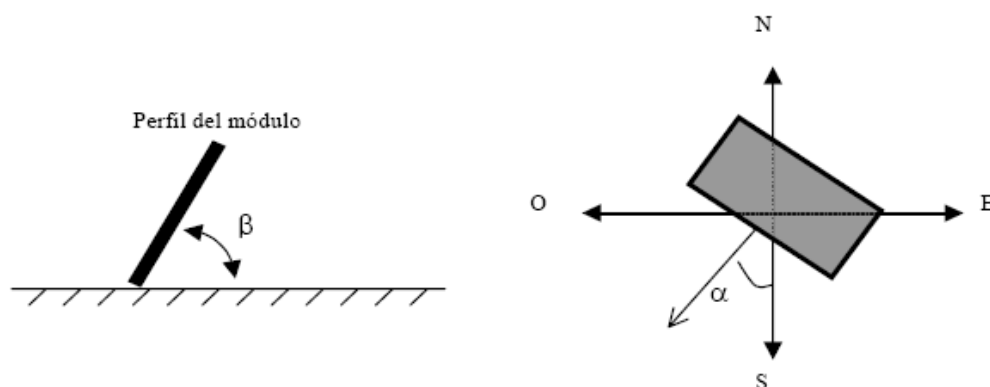


Ilustración 21. Ángulo de inclinación y ángulo de azimut [26]

Se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para ello se usará la ilustración 22, que ofrece el CTE DB HE4 válida para una latitud ( $\varphi$ ) de  $41^\circ$  correspondiente al caso de Colmenar Viej.

Los ejes radiales representan las diferentes orientaciones, con eje Norte-Sur en la vertical. Las circunferencias concéntricas marcan las inclinaciones de los captadores, siendo el punto central del gráfico la posición horizontal y la circunferencia exterior la vertical (inclinación de  $90^\circ$ ). La intersección de una radial con una circunferencia es una posición concreta del campo de captadores.

Las diferentes secciones indican el porcentaje de energía anual recibida respecto al óptimo, situado (punto negro) en orientación Sur e inclinación  $34-35^\circ$ . Las pérdidas anuales se obtienen restando dicho porcentaje de 100.

Para conocer si una posible ubicación es válida de acuerdo con el CTE y su criterio de pérdidas límite, se determina primero la orientación de los captadores (acimut), que se recomienda que estén en línea con la orientación de las cubiertas existentes.

Para dicha orientación, se calculan los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecidas en la tabla correspondiente, en función del tipo de integración. Conocido el azimut (que en el caso del presente proyecto será de  $0^\circ$ , ya que los paneles solares se encuentran con orientación sur); determinamos en la imagen los límites de inclinación para una latitud de  $\varphi=41^\circ$ , mediante la intersección del ángulo de azimut y de inclinación. Si no hubiera intersección entre ambas líneas, las pérdidas serían superiores a las permitidas.

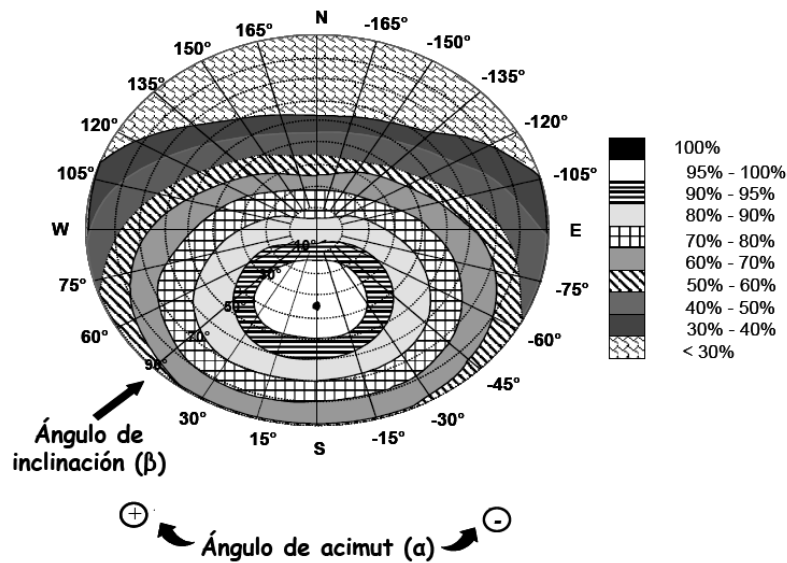


Ilustración 22. Porcentaje de pérdida por acimut e inclinación [27]

En este caso para la latitud de  $41^\circ$ , orientación sur y el ángulo de inclinación de los captadores de  $50^\circ$  se obtiene que el porcentaje de pérdidas es de un 5 %.

## 5.6 Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras

El CTE DB HE4 establece el método a emplear para calcular las pérdidas de radiación incidente sobre los captadores debido a las sombras producidas por elementos del entorno.

Estas pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global anual que incidiría sobre los captadores de no existir sombra alguna. En caso de superar los valores límites establecidos por el CTE y no poder eliminar el elemento causante de la sombra se debe buscar otra ubicación más favorable, en las condiciones expuestas anteriormente.

El procedimiento de cálculo propuesto en el CTE consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol de la figura:

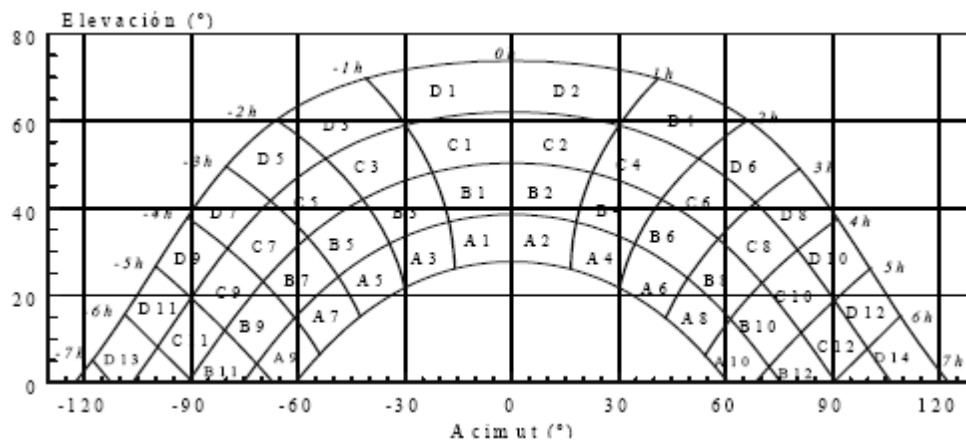


Ilustración 23. Diagrama de trayectorias del sol

Este diagrama es válido para localidades de la Península Ibérica y Baleares (para las Islas Canarias el diagrama debe desplazarse  $12^\circ$  en sentido vertical ascendente). Se encuentra dividido en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2,... D14).

Cada una de las porciones representa el recorrido del sol en un cierto periodo de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Localizar los principales obstáculos que afectan a los captadores, en términos de sus coordenadas de posición: acimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal), vistos desde los captadores.
- Representar el perfil de obstáculos en el diagrama de trayectorias del sol a lo largo de todo el año.
- Identificar las porciones ocultas por el obstáculo, total o parcialmente (factor de llenado 1, 0.75, 0.5 ó 0.25).

- Sumar los efectos de cada porción oculta según las tablas correspondientes, para la orientación e inclinación del captador más próxima.

No debe confundirse el ángulo de acimut del obstáculo con el del propio captador. El acimut del obstáculo es el ángulo respecto al Sur de la línea que une el obstáculo con el captador, independientemente de la orientación de este. El acimut u orientación del captador indica hacia dónde está inclinado.

Se muestra a continuación una de las tablas de referencia para la estimación de pérdidas anuales por sombreado incluidas en el CTE DBHE4, en concreto la correspondiente a orientación Sur e inclinación de paneles 35°.

	$\beta=35^\circ ; \alpha=0^\circ$			
	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,17	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,56
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 14. Pérdidas por sombreado [28]

Una vez que se ha determinado la cantidad de captadores necesaria para cumplir con la contribución solar mínima establecida, debe diseñarse su ubicación física sobre la cubierta elegida cumpliendo los requisitos del apartado anterior.

En este caso, no se trata ya del sombreado de los elementos del entorno, sino de los posibles efectos de unas filas de captadores sobre otras.

Cuando los paneles se disponen en filas sobre una cubierta plana, deben guardar una distancia mínima entre ellas para evitar el sombreado de unas sobre otras. La estimación de esta distancia se esquematiza en la ilustración 24.

Conociendo la longitud del panel  $l$  (en su lado vertical) y la inclinación  $\beta$ , por simples reglas de trigonometría se puede determinar la distancia entre paneles que garantiza que al mediodía del día del año con el Sol más bajo (solsticio de invierno), la sombra de una fila no alcanza a la siguiente.

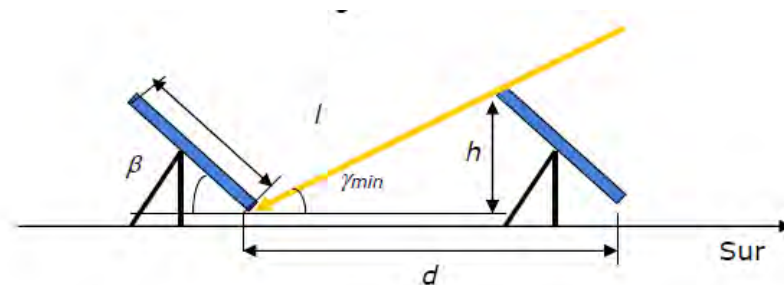


Ilustración 24. Distancia entre captadores

La expresión de cálculo es:

$$d \geq \frac{l \cdot \sin \beta}{\tan \gamma_{\min}} + l \cos \beta$$

La distancia mínima entre el final de un captador (u otro obstáculo) y el siguiente,  $d_{\min}$  en el eje Norte-Sur, se puede simplificar a:

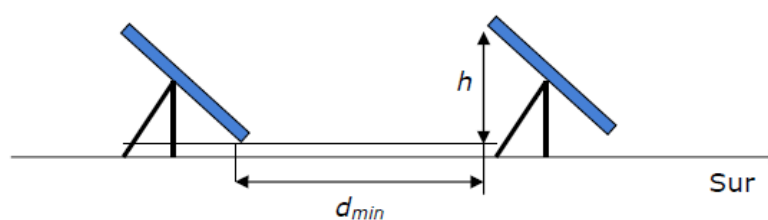


Ilustración 25. Distancia mínima entre captadores

$$d_{min} \geq \frac{h}{\tan \gamma_{min}}$$

Antes de calcular la separación entre filas debe decidirse cuál es el criterio a aplicar, esto es, cuál es la elevación mínima del Sol a la que no debe haber sombras entre una fila y otra de paneles.

Sin embargo, en el Pliego del IDAE se aplica un criterio diferente. En este caso se exige ausencia de sombreado entre filas no sólo al mediodía solar del solsticio de invierno, sino también 2 horas antes y 2 horas después.

Estas 4 horas sin sombreado implican que la elevación mínima del sol a aplicar a la expresión general de separación va a ser inferior; el Sol está más bajo, por lo que el sombreado es más alargado y la distancia entre filas debe ser mayor.

Utilizando la ecuación que permite calcular la elevación del sol a cualquier hora del día de cualquier día del año, en un lugar de latitud dada:

$$\sin \gamma_s = \sin \delta \cdot \sin \theta + \cos \delta \cdot \cos \theta \cdot \cos \omega$$

Se obtiene que la elevación del sol 2 horas antes (o después) del mediodía solar ( $\omega = \pm 30^\circ$ , ya que cada hora equivale a  $15^\circ$ ) en el solsticio de invierno varía, aproximadamente, entre los  $17^\circ$  del Norte de la península y los  $24^\circ$  del Sur, Ceuta y Melilla, pasando por los  $21^\circ$  del centro. En las Islas Canarias la elevación del sol en ese momento se sitúa sobre los  $30^\circ$ .

Así, en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE se propone la siguiente aproximación, basada en lo aquí expuesto, con los  $6^\circ$  de diferencia en elevación:



$$d_{min} \geq \frac{h}{\tan(61^\circ - \theta)} = k \cdot h$$

Aplicando esta ecuación a diferentes latitudes se obtienen otros valores del parámetro k:

Latitud	29º	37º	39º	41º	43º	45º
Coeficiente k	1,600	2,246	2,475	2,747	3,078	3,487

Tabla 15. Cálculo parámetro k

Aplicando para los captadores seleccionados y nuestra latitud de 41º obtenemos una distancia entre filas de captadores de:

$$h = \text{sen}50^\circ \cdot 2,2 = 1,6852 \text{ m}$$

$$d_{min} \geq k \cdot h = 2,747 \cdot 1,6852 = 4,629 \text{ m}$$

$$d_{min} \geq 4,629 \text{ m}$$

Por lo tanto el espacio entre captadores será de 4,7 m de distancia. Cuando se proceda al diseño del conexionado de captadores se tendrán en cuenta estas distancias para comprobar si se tiene espacio suficiente para colocar los captadores en la cubierta del edificio.



## 6. ESTRUCTURA SOPORTE

## 6. Estructura soporte

El captador solar se apoyará en 2 barras horizontales (correas), considerando que se distribuye su carga de manera uniforme.

Dichas correas se apoyan a su vez en un marco compuesto por 2 barras, una vertical y una inclinada que forma  $50^\circ$  con la horizontal. El extremo de la barra inclinada que no está apoyado en el terreno acaba en un voladizo y las barras del marco se empotran en el suelo. Se considera este marco como un pórtico plano con su nudo de unión rígido.

Las cargas se aplican al captador; este lo transmite en forma de carga repartida a las correas y estas a su vez lo transmiten al marco en forma de cargas puntuales.

Se desprecia a efectos de cálculo el peso propio de las barras, así como el efecto de la nieve o el viento que actúe en la superficie de las mismas (aunque lógicamente sí se tiene en cuenta el que actúa en el captador).

A continuación se puede ver un esquema de la forma de la estructura del captador solar:

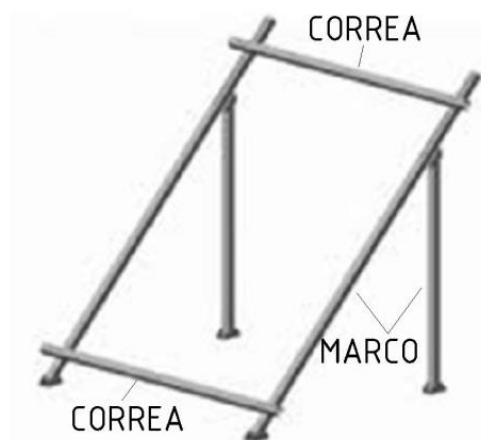


Ilustración 26. Esquema estructura

Las medidas de longitud de la estructura dependerán directamente del captador solar. En la siguiente tabla se pueden ver las características y dimensiones del captador:

<b>Largo total (mm)</b>	<b>2.200</b>
<b>Ancho total (mm)</b>	1.260
<b>Fondo (mm)</b>	90
<b>Área total (m2)</b>	2,77
<b>Área de apertura (m2)</b>	2,58
<b>Área del absorbedor (m2)</b>	2,46
<b>Peso en vacío (kg)</b>	50
<b>Capacidad de fluido (l)</b>	1,70

Tabla 16. Características captador solar [29]

Con estos datos del captador se pueden conocer las dimensiones de la estructura que será de la siguiente manera:

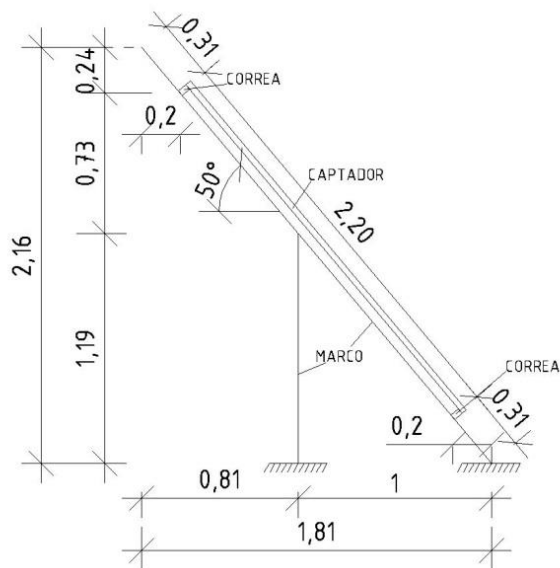


Ilustración27. Cotas estructura

## 6.1 CORREAS

Como material para la barra, se utilizarán perfiles de acero huecos, rectangulares, laminados en caliente. El acero utilizado es S275 JR.

### Listado de cargas:

Hay 3 grupos de cargas que actúan sobre el captador:

-*Peso propio del captador* ( $G_{ppo}$ ), carga permanente vertical (gravitatoria) aplicada en verdadera magnitud a lo largo de todo el captador.

-*Viento* ( $Q_w$ ), carga variable aplicada perpendicularmente al plano del captador a lo largo del mismo.

-*Nieve* ( $Q_N$ ), carga variable vertical aplicado en proyección horizontal a lo largo de todo el captador.

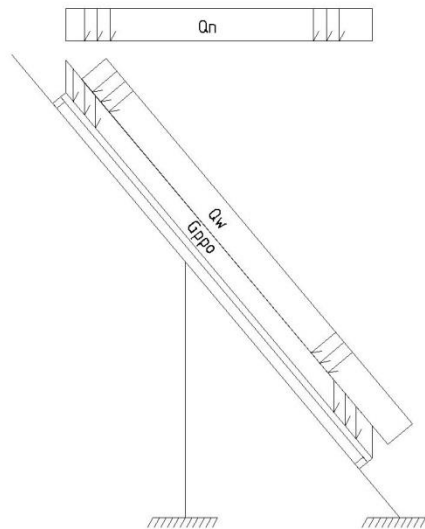


Ilustración 28. Cargas sobre el captador

### 6.1.1 Peso propio del captador ( $G_{ppo}$ )

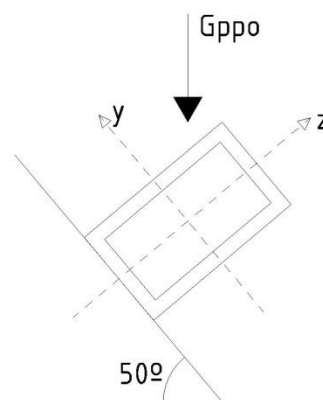


Ilustración 29. Peso propio sobre el perfil

Según datos del fabricante, la masa en vacío del captador es de 50 kg [30]; el fluido que recorrerá el interior del captador es agua y un 30% de propilenglicol, por lo

que la masa extra será aproximadamente de 1,7 kg. La fuerza a total a soportar por la estructura respecto a la masa será de 51,7 kg.

$$P = 51,7 \text{ kg} = 517 \text{ N} = 0,52 \text{ kN}$$

Se considera que el captador se encuentra simplemente apoyado sobre las 2 correas:

$$G_{ppo} = \frac{P}{2} = \frac{0,52}{2} = 0,26 \text{ kN}$$

Si se convierte en una carga lineal a repartir en toda la correa de  $l = 1,26 \text{ m}$ :

$$G_{ppo} = \frac{0,26}{1,26} = 0,206 \text{ kN/m}$$

Descomposición en ejes principales del perfil:

$$\text{Eje "z"} \rightarrow G_{ppo,z} = G_{ppo} \cdot \cos\alpha = 0,206 \cdot \cos 50 = 0,132 \text{ kN/m} \swarrow$$

$$\text{Eje "y"} \rightarrow G_{ppo,y} = G_{ppo} \cdot \sen\alpha = 0,206 \cdot \sen 50 = 0,158 \text{ kN/m} \searrow$$

### 6.1.2 Viento (DB SE-AE)

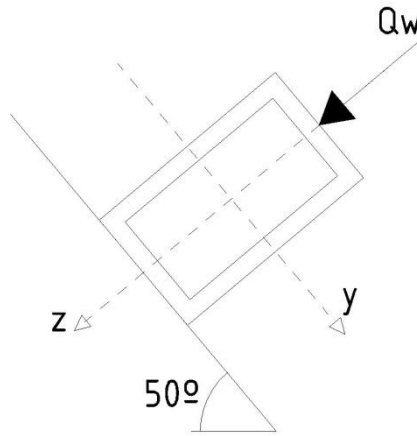


Ilustración 30. Viento sobre el perfil

$$Q_w = q_b \cdot c_e \cdot c_p / s \cdot S_{\perp \text{captador}}$$

$$q_b [31] \rightarrow \text{Zona A} \rightarrow q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e [32] \rightarrow c_e = F \cdot (F + 7k); F = k \cdot \ln\left(\frac{Z}{l}\right); Z = 21 \text{ m.}$$

$$\text{DBE-SE-AE Tabla D.2} \rightarrow \text{Grado aspereza IV (urbano general)} \rightarrow k = 0,22; l = 3$$

$$F = 0,22 \cdot \ln\left(\frac{21}{3}\right) = 0,935; c_e = 0,935 \cdot (0,935 + 7 \cdot 0,22) = 2,314$$

$c_p/s \rightarrow$  El CTE limita las marquesinas a un ángulo máximo de  $30^\circ$ , por lo que los  $50^\circ$  del captador no cumplen. Se ha estimado que lo más parecido en cuanto a comportamiento a viento de esta estructura es a la de un cartel publicitario, cuyo tratamiento se realiza en el Eurocódigo 1-4, Art. 7.4.3 “Cartel de señalización”.



En dicho artículo no se habla ni de la inclinación de dicho cartel respecto a la vertical ni se cumplen estrictamente las limitaciones que establece para poder ser considerado como tal en cuanto al espacio bajo el mismo, pero se considera que es lo más parecido dentro de la normativa actual.

$$c_p/s = 1,80 \text{ [33]}$$

$$q_b = 0,42 \cdot 2,314 \cdot 1,80 = 1,75 \text{ kN/m}^2 ;$$

Para cada correa, con un largo de 2,20 m:

$$Q_w = 1,75 \cdot \frac{2,20}{2} = 1,93 \text{ kN/m} \angle (\text{Aplicado en el eje "z"})$$

\*\*Si el viento soplase por el trasdós del captador, sería de misma magnitud pero sentido opuesto.

### 6.1.3 Nieve (DB SE-AE)

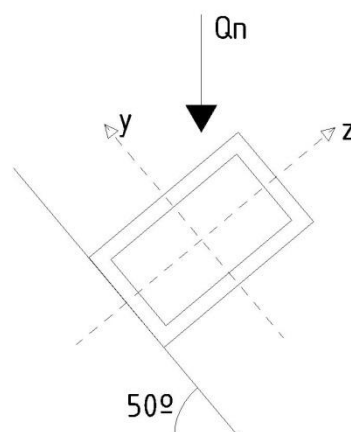


Ilustración 31. Carga de nieve sobre el perfil

$$q_N = \mu \cdot s_k$$

Según el Art. 3.5.3, no hay impedimento para el deslizamiento de la nieve. El ángulo que forma la superficie con la horizontal es de  $50^\circ$ . Interpolando entre  $\alpha = 30^\circ \rightarrow \mu = 1$  y  $\alpha = 60^\circ \rightarrow \mu = 0$ , obtenemos un valor para  $\alpha = 50^\circ \rightarrow \mu = 0,33$ .

Según el Anejo E, para una zona de clima invernal 4 y una altura de referencia  $h_{ref} = 882$  m, se obtiene interpolando una  $s_k = 0,964$  kN/m<sup>2</sup>.

$$q_N = 0,33 \cdot 0,964 = 0,318 \text{ kN/m}^2$$

La proyección horizontal del captador es:  $2,2 \cdot \cos 50 = 1,414$  m.

Cada correa se lleva una parte de carga de  $Q_N = 0,318 \cdot \frac{1,414}{2} = 0,225$  kN/m

Descomponiendo en los ejes principales del perfil:

$$Q_{N,z} = 0,225 \cdot \cos 50 = 0,145 \text{ kN/m} \swarrow$$

$$Q_{N,y} = 0,225 \cdot \sin 50 = 0,172 \text{ kN/m} \searrow$$

### 6.1.4. Análisis estructural y dimensionado de la correa.

#### 6.1.4.1. Hipótesis 1 → Viento incidiendo sobre la cara frontal del captador

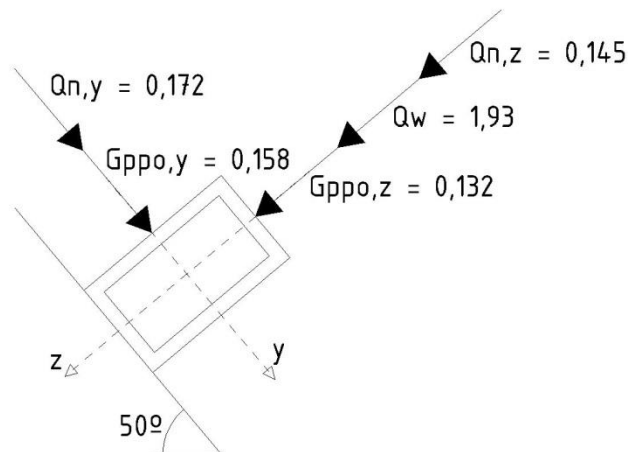


Ilustración 32. Suma de cargas sobre la correa

Se considera que las correas están simplemente apoyadas en el marco.

La estructura presenta flexión en sus 2 ejes principales (flexión esviada). Viento y nieve son concomitantes; al ser el viento una fuerza notablemente mayor, se considera dominante, y la nieve se verá reducida por el coeficiente de simultaneidad correspondiente →  $\Psi_{0, \text{nieve} < 1000 \text{ m.}} = 0,5$  [34]

##### 6.1.4.1.1. ELS de deformación.

Para poder comprobar el Estado Límite de Servicio de Deformación, se aplica la combinación de acciones en situación persistente o transitoria

$$q_k = \Sigma Y_G \cdot G_k + Y_Q \cdot Q_{k,1} + \Sigma Y_Q \cdot \Psi_0 \cdot Q_{k,i} \quad [35]$$

Al ser un ELS, los coeficientes de mayoración de cargas son iguales a la unidad:  
 $Y_G = Y_Q = 1$

$$\text{Eje "y"} \rightarrow q_{k,y} = 0,158 + 0,172 = 0,33 \text{ kN/m}$$

$$\text{Eje "z"} \rightarrow q_{k,z} = 0,132 + 1,93 + 0,5 \cdot 0,145 = 2,13 \text{ kN/m}$$

La comprobación a realizar será la siguiente:

$$f_{adm} \geq f_j ; \text{ siendo } j = y, z$$

Se considera que, debido a la rigidez del panel, la limitación de la flecha será equiparable a si sobre la estructura hubiese elementos frágiles (criterio de integridad de los elementos constructivos):

$$f_{adm} = \frac{l}{500} = \frac{1260}{500} = 2,52 \text{ mm}$$

Las flechas producidas por las cargas se hallarán de acuerdo a las conocidas fórmulas de Resistencia de Materiales:

$$f_z = \frac{5 \cdot q_{k,z} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_y} ; 3,15 = \frac{5 \cdot 2,13 \cdot 1260^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot I_y} ; I_y = 10,57 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \rightarrow \text{Perfil rectangular}$$

#50.30.4

$$f_y = \frac{5 \cdot 0,33 \cdot 1260^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 6,69 \cdot 10^4} = 0,72 \text{ mm} < 3,15 \text{ mm} \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

#### 6.1.4.1.2- ELU Resistencia a flexión esviada.

Según prontuarios, la sección transversal es de Clase 1 y por lo tanto se deberá

$$\text{cumplir que } \frac{M_{y,d}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,d}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

A continuación se procede a mayorar las cargas:

$$\text{Eje "y"} \rightarrow q_{d,y} = 1,35 \cdot 0,158 + 1,5 \cdot 0,172 = 0,47 \text{ kN/m}$$

Eje "z"  $\rightarrow q_{d,z} = 1,35 \cdot 0,132 + 1,5 \cdot 0,1,93 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,145 = 3,18 \text{ kN/m}$

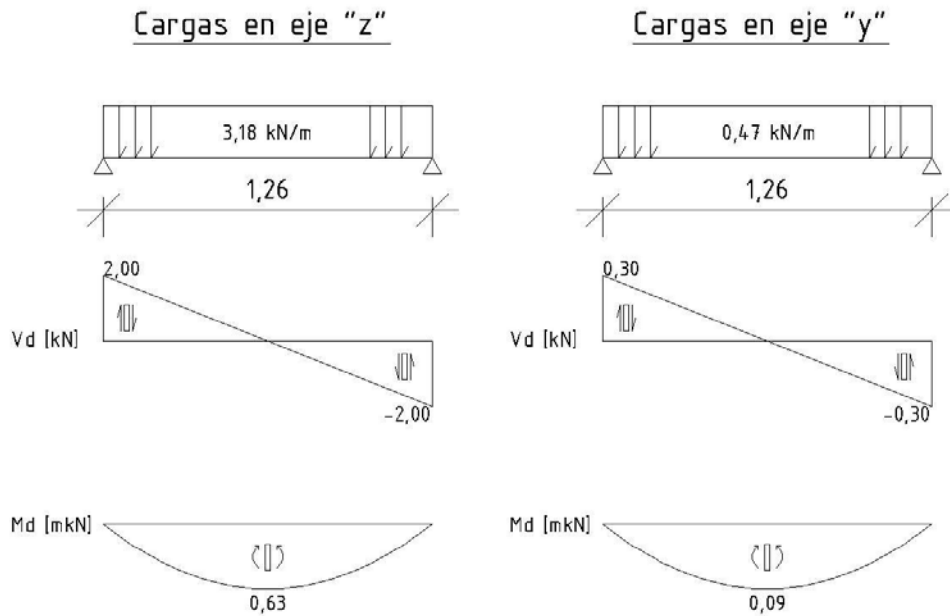


Ilustración 33. Diagrama de esfuerzos (Hipótesis 1)

De los anteriores diagramas se obtienen la carga y el momento crítico:

$$V_{dmax,y} = \frac{3,18 \cdot 1,26}{2} = 2,00 \text{ kN} ; M_{dmax,y} = \frac{3,18 \cdot 1,26^2}{8} = 0,63 \text{ mkN}$$

$$V_{dmax,z} = \frac{0,47 \cdot 1,26}{2} = 0,30 \text{ kN} ; M_{dmax,z} = \frac{0,47 \cdot 1,26^2}{8} = 0,09 \text{ mkN}$$

Se calcula  $M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ , siendo estos parámetros la resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 8,05 \cdot 103 \cdot \frac{275}{1,05} = 2,11 \cdot 106 \text{ mmN}$$

$$M_{pl,Rd,z} = W_{pl,z} \cdot f_{yd} = 5,58 \cdot 103 \cdot \frac{275}{1,05} = 1,46 \cdot 106 \text{ mmN}$$

Dónde  $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$  son el módulo resistente plástico respecto al eje Y y Z correspondientemente.

Se sustituye y se comprueba la fórmula para sección tipo 1:

$$\frac{0,63 \cdot 10^6}{2,11 \cdot 10^6} + \frac{0,09 \cdot 10^6}{1,46 \cdot 10^6} = 0,36 < 1,00 \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

#### 6.1.4.1.3 ELU Resistencia a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante de sollicitación debe ser menor que la resistencia de la sección a cortante:

$$V_d \leq V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2 \cdot h \cdot t_w \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2 \cdot 50 \cdot 4 \cdot \frac{\frac{275}{1,05}}{\sqrt{3}} = 60,24 \text{ kN} > 2,00 \text{ kN} \rightarrow$$

VÁLIDO

Dónde  $A_v$  es el área eficaz a cortante.

#### 6.1.4.1.4. ELU Interacción flector – cortante.

En el punto de momento flector máximo no hay cortante, y en el punto donde el cortante es máximo no hay momento flector, por lo que no es necesaria esta comprobación.

#### 6.1.4.1.5. ELU Inestabilidad por pandeo lateral.

La luz del elemento es muy corta, y el margen en flexión es suficientemente holgado (36% de aprovechamiento del perfil) como para afirmar que no es determinante.

#### 6.1.4.2. Hipótesis 2 → Viento incidiendo sobre la cara posterior del captador

Esta hipótesis no influye en el dimensionado de la correa, puesto que al no variar ni el peso propio ni la nieve es una hipótesis menos desfavorable; sin embargo, sí es interesante para analizar el marco posteriormente con una hipótesis de carga distinta.

No se considera por lo tanto ni la carga de nieve (es favorable) y el coeficiente de mayoración de cargas del peso propio será  $\gamma_G = 1,00$ .

Eje "y" →  $q_{d,y} = 0,16 \text{ kN/m}$  ↘

Eje "z" →  $q_{d,z} = 0,132 - 1,5 \cdot 1,93 = 2,76 \text{ kN/m}$  ↗

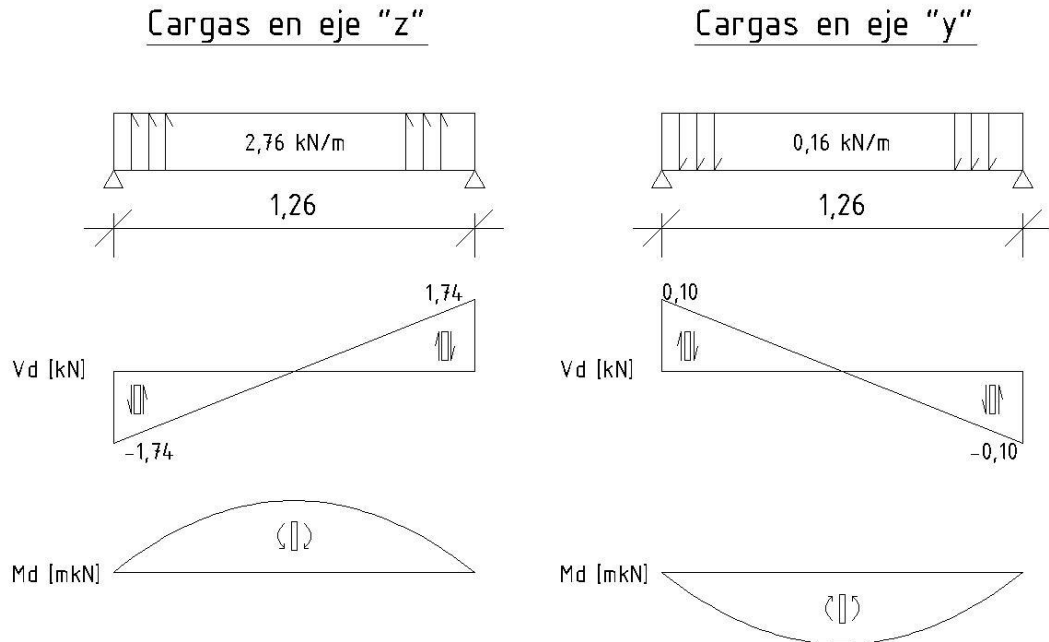


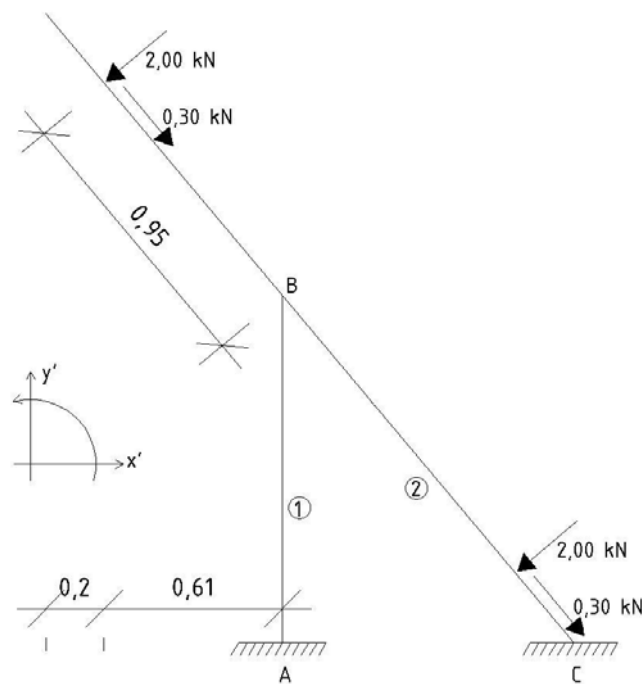
Ilustración 34. Diagrama de esfuerzos (Hipótesis 2)

$$V_{dmax,y} = \frac{2,76 \cdot 1,26}{2} = 1,74 \text{ kN} ; V_{dmax,z} = \frac{0,16 \cdot 1,26}{2} = 0,10 \text{ kN}$$

**VÁLIDO PERFIL # 50.30.4 EN CORREAS**

## 6.2 MARCO

### **6.2.1 . Hipótesis 1 → Viento incidiendo sobre la cara frontal del captador**



**Ilustración 35. Cargas puntuales sobre el marco**



### 6.2.1.2 Análisis de la estructura.

Se procede al análisis de la estructura por medio del Método Directo de la Rigidez (Método Matricial), para lo cual se trasladan vectorialmente todas las cargas exteriores a los nudos. Además, se simplificará la estructura, eliminando el voladizo y sustituyéndolo por las solicitaciones correspondientes a las reacciones que hipotéticamente habría si se considera ese voladizo una viga empotrada-volada. Se aplicarán las fuerzas en ejes globales  $x'$  e  $y'$ .

#### a) Traslado de cargas al nudo B

##### a.1) Momento debido a carga puntual en voladizo

$$M_B \text{ (debido a carga 2,00 kN)} = 2,00 \cdot 0,95 = 1,90 \text{ mkN } \curvearrowright$$

##### a.2) Fuerzas en ejes $x'$ e $y'$

$$F_{B,V} = 2,00 \cdot \cos 50 + 0,30 \cdot \sin 50 = 1,52 \text{ kN } \downarrow$$

$$F_{B,H} = 2,00 \cdot \sin 50 - 0,30 \cdot \cos 50 = 1,34 \text{ kN } \leftarrow$$

#### b) Paso de cargas aplicadas en la Barra 2 a los apoyos B y C

Se analiza la Barra 2 como si fuese una barra aislada biempotrada:

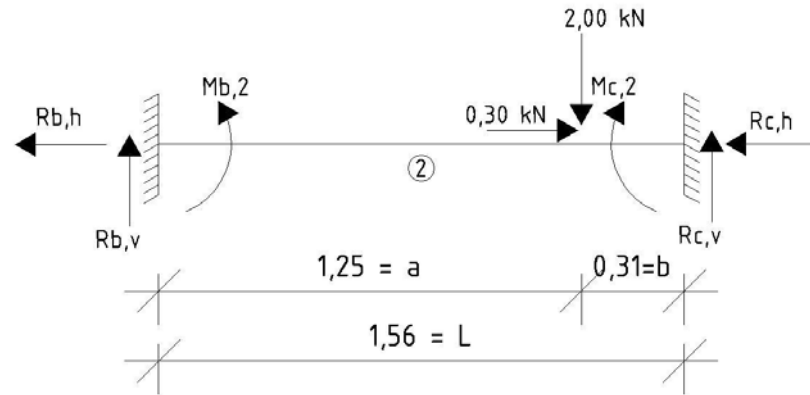


Ilustración 36. Cálculo de reacciones

## b.1) Reacciones verticales (ejes locales de barra)

$$R_{B,V} = \frac{P \cdot b^2}{L^3} \cdot (L + 2 \cdot a) = \frac{2,00 \cdot 0,31^2}{1,56^3} \cdot (1,56 + 2 \cdot 1,25) = 0,21 \text{ kN } \uparrow$$

$$R_{C,V} = \frac{P \cdot a^2}{L^3} \cdot (L + 2 \cdot b) = \frac{2,00 \cdot 1,25^2}{1,56^3} \cdot (1,56 + 2 \cdot 0,31) = 1,79 \text{ kN } \uparrow$$

## b.2) Fuerzas horizontales (ejes locales de barra)

$$\Sigma F_H = 0; R_{B,H} + R_{C,H} - 0,30 = 0 \quad (1)$$

$$\Delta L_a = \Delta L_b; \Delta L = \epsilon \cdot L; \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{N}{E \cdot A}; \Delta L = \frac{N \cdot L}{E \cdot A}; \text{ Si tomo } N = R_H \Rightarrow \frac{R_{B,H} \cdot a}{E \cdot A} = \frac{R_{C,H} \cdot b}{E \cdot A}$$

$$\text{Como } A \text{ y } E \text{ son constantes } \Rightarrow R_{B,H} \cdot a = R_{C,H} \cdot b \Rightarrow R_{B,H} \cdot 1,25 = R_{C,H} \cdot 0,31 \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} (1) \\ (2) \end{bmatrix} \Rightarrow R_{B,H} = 0,06 \text{ kN} \leftarrow; R_{C,H} = 0,24 \text{ kN} \leftarrow$$

## b.3) Momentos (ejes locales de barra)

$$M_{B,2} = \frac{P \cdot b \cdot a^2}{L^2} = \frac{2,00 \cdot 1,25 \cdot 0,31^2}{1,56^2} = 0,10 \text{ mkN } \curvearrowright$$

$$M_{C,2} = \frac{P \cdot a^2 \cdot b}{L^2} = \frac{2,00 \cdot 1,25^2 \cdot 0,31}{1,56^2} = 0,40 \text{ mkN } \curvearrowleft$$

El momento total en el nudo B =  $1,90 - 0,10 = 1,80 \text{ mkN } \curvearrowleft$

Se representa a continuación las cargas sobre los nodos:

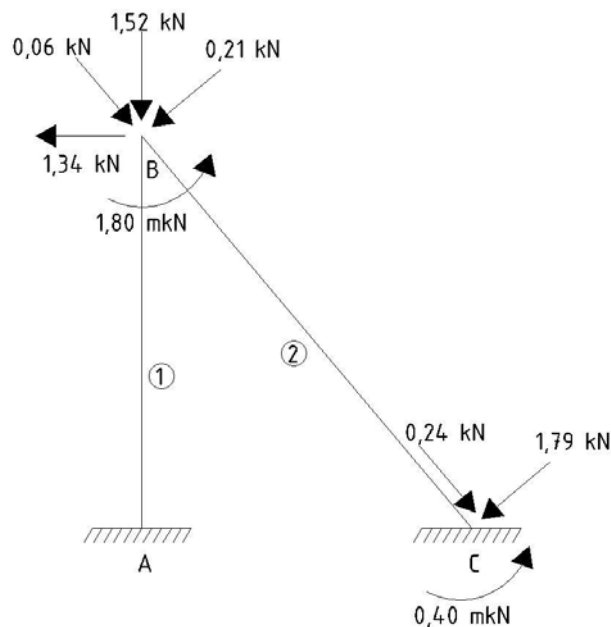


Ilustración 37. Cargas sobre los nodos

Por último se trasladarán todas las cargas a ejes globales  $x'$  e  $y'$

Nudo B

$$F_{y'B} = 1,52 + 0,21 \cdot \cos 50 + 0,06 \cdot \sin 50 = 1,70 \text{ kN } \downarrow$$

$$F_{x'B} = 1,34 + 0,21 \cdot \sin 50 - 0,06 \cdot \cos 50 = 1,46 \text{ kN } \leftarrow$$

Nudo C

$$F_{y'C} = 1,79 \cdot \cos 50 + 0,24 \cdot \sin 50 = 1,33 \text{ kN} \downarrow$$

$$F_{x'C} = 1,79 \cdot \sin 50 - 0,24 \cdot \cos 50 = 1,22 \text{ kN} \leftarrow$$

El resultado final de trasladar las cargas a los nudos y ponerlas en ejes globales, para el Estado (0), es el siguiente:

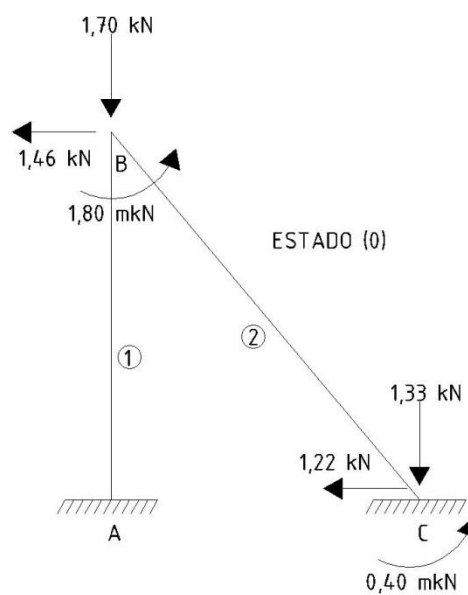


Ilustración 38. Estado 0 del marco

Puesto que hay cargas aplicadas a lo largo de la Barra 2, las reacciones de dicha barra aislada (Estado I) son las siguientes:

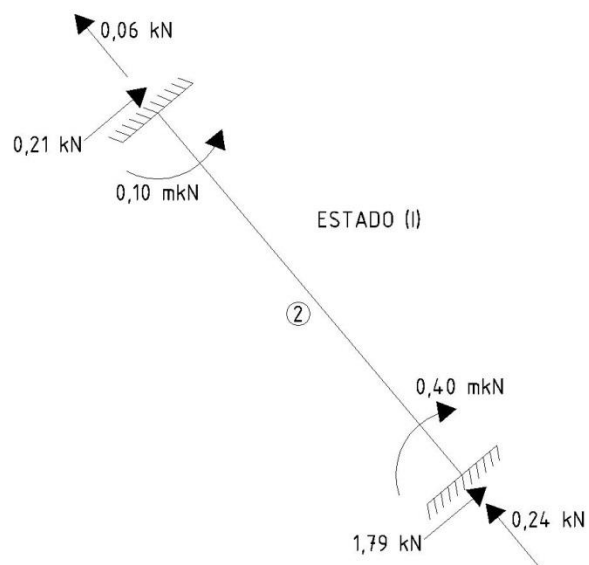


Ilustración 39. Reacciones en barra 2

### MÉTODO DIRECTO DE LA RIGIDEZ

Se procede al establecimiento de ejes locales y globales así como la obtención de los datos para el perfil seleccionado:

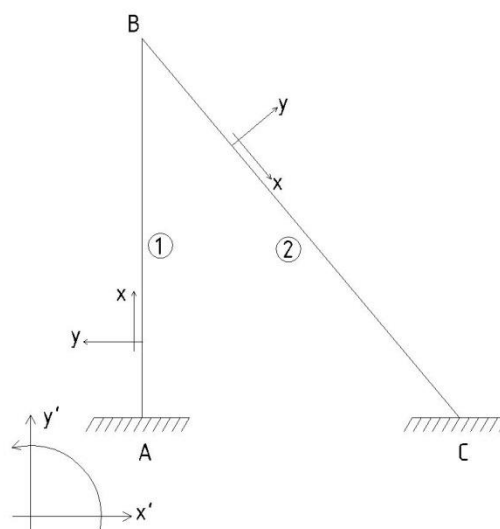


Ilustración 40. Ejes locales y globales método matricial

Se suponen perfiles rectangulares huecos de acero # 70.50.4 para ambas barras.

Módulo de elasticidad del acero  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$

Inercia según el eje de flexión "y"  $= 54,7 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 = 5,47 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$

Área de la sección transversal  $A = 854,8 \text{ mm}^2 = 8,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Longitud Barra 1  $L_1 = 1190 \text{ mm} = 1,19 \text{ m}$

Longitud Barra 2  $L_2 = 1560 \text{ mm} = 1,56 \text{ m}$

Ángulo forma Barra 1 con horizontal  $\alpha_1 = 90^\circ$

Ángulo forma Barra 2 con horizontal  $\alpha_2 = 310^\circ$

Matrices de rigidez de barras en ejes locales:

$$P = k \cdot \delta \rightarrow \begin{bmatrix} P_i \\ P_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta_i \\ \delta_j \end{bmatrix}; P_i = \begin{bmatrix} N_i \\ V_i \\ M_i \\ N_j \\ V_j \\ M_j \end{bmatrix}; \delta_i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ \theta_i \\ X_j \\ Y_j \\ \theta_j \end{bmatrix} \quad [36]$$

Matriz de rigidez de una barra biempotrada [37]:

$$K_i = \begin{bmatrix} \frac{E \cdot A}{L} & 0 & 0 & -\frac{E \cdot A}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12 \cdot E \cdot I}{L^3} & \frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} & 0 & -\frac{12 \cdot E \cdot I}{L^3} & \frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} \\ 0 & \frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} & \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} & 0 & -\frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} & \frac{2 \cdot E \cdot I}{L} \\ -\frac{E \cdot A}{L} & 0 & 0 & \frac{E \cdot A}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12 \cdot E \cdot I}{L^3} & -\frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} & 0 & \frac{12 \cdot E \cdot I}{L^3} & -\frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} \\ 0 & \frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} & \frac{2 \cdot E \cdot I}{L} & 0 & -\frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} & \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} \end{bmatrix}$$

Se calcula la matriz para la barra 1:

$$K_{\textcircled{1}} = \begin{bmatrix} 150882,4 & 0 & 0 & -150882,4 & 0 & 0 \\ 0 & 818 & 486,7 & 0 & -818 & 486,7 \\ 0 & 486,7 & 386,1 & 0 & -486,7 & 193,1 \\ -150882,4 & 0 & 0 & 150882,4 & 0 & 0 \\ 0 & -818 & -486,7 & 0 & 818 & -486,7 \\ 0 & 486,7 & 193,1 & 0 & -486,7 & 386,1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{E \cdot A}{L} = \frac{2,1 \cdot 10^8 \cdot 8,55 \cdot 10^{-4}}{1,19} = 150882,4 ; \frac{12 \cdot E \cdot I}{L^3} = \frac{12 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5,47 \cdot 10^{-7}}{1,19^3} = 818$$

$$\frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{6 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5,47 \cdot 10^{-7}}{1,19^2} = 486,7 ; \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5,47 \cdot 10^{-7}}{1,19} = 386,1$$

$$\frac{2 \cdot E \cdot I}{L} = \frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5,47 \cdot 10^{-7}}{1,19} = 193,1$$

Barra 2:

$$K_{\textcircled{2}} = \begin{bmatrix} 115096,2 & 0 & 0 & -115096,2 & 0 & 0 \\ 0 & 363,1 & 283,2 & 0 & -363,1 & 283,2 \\ 0 & 283,2 & 294,5 & 0 & -283,2 & 147,3 \\ -115096,2 & 0 & 0 & 115096,2 & 0 & 0 \\ 0 & -363,1 & -283,2 & 0 & 363,1 & -283,2 \\ 0 & 283,2 & 147,3 & 0 & -283,2 & 294,5 \end{bmatrix}$$

$$\frac{E \cdot A}{L} = \frac{2,1 \cdot 10^8 \cdot 8,55 \cdot 10^{-4}}{1,56} = 115096,2 ; \frac{12 \cdot E \cdot I}{L^3} = \frac{12 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5,47 \cdot 10^{-7}}{1,56^3} = 363,1$$

$$\frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{6 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5,47 \cdot 10^{-7}}{1,56^2} = 283,2 ; \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5,47 \cdot 10^{-7}}{1,56} = 294,5$$

$$\frac{2 \cdot E \cdot I}{L} = \frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 5,47 \cdot 10^{-7}}{1,56} = 147,3$$

Se transforma las matrices de rigidez de ejes locales a globales:

$$K'_i = T_i \cdot K_i \cdot T_i^{-1}$$

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_i^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K'_{\textcircled{1}} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot K_{\textcircled{1}} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$K'_{\textcircled{1}} = \begin{bmatrix} 818 & 0 & -486,7 & -818 & 0 & -468,7 \\ 0 & 150882,4 & 0 & 0 & -150882,4 & 0 \\ -486,7 & 0 & 386,1 & 486,7 & 0 & 193,1 \\ -818 & 0 & 486,7 & 818 & 0 & 486,7 \\ 0 & -150882,4 & 0 & 0 & 150882,4 & 0 \\ -486,7 & 0 & 193,1 & 486,7 & 0 & 386,1 \end{bmatrix}$$

$$K'_{\textcircled{2}} = \begin{bmatrix} 0,643 & 0,766 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,766 & 0,643 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,643 & 0,766 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,766 & 0,643 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot K_{\textcircled{2}} \cdot \begin{bmatrix} 0,643 & -0,766 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,766 & 0,643 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,643 & -0,766 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,766 & 0,643 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$



$$K'_{\textcircled{2}} = \begin{bmatrix} 47799,5 & -56510,4 & 216,9 & 47799,5 & 56510,4 & 216,9 \\ -56066,4 & 67154,5 & 182,1 & 56066,4 & -67154,5 & 182,1 \\ 216,9 & 182,1 & 294,5 & -216,9 & -182,1 & 147,3 \\ -47799,5 & 56510,4 & -216,9 & 47799,5 & -56510,4 & -216,9 \\ 56066,4 & -67154,5 & -182,1 & -56066,4 & 67154,5 & -182,1 \\ 216,9 & 182,1 & 147,3 & -216,9 & -182,1 & 294,5 \end{bmatrix}$$

Desarrollando cada nudo con su submatriz kij:

$$P_A = k'_{11\textcircled{1}} \cdot \delta'_A + k'_{12\textcircled{1}} \cdot \delta'_B$$

$$P_B = k'_{22\textcircled{1}} \cdot \delta'_B + k'_{11\textcircled{2}} \cdot \delta'_B + k'_{21\textcircled{1}} \cdot \delta'_A + k'_{12\textcircled{2}} \cdot \delta'_C$$

$$P_C = k'_{22\textcircled{2}} \cdot \delta'_C + k'_{21\textcircled{2}} \cdot \delta'_B$$

$$K'_{est} = \begin{bmatrix} k'_{11\textcircled{1}} & k'_{12\textcircled{1}} & \Omega \\ k'_{21\textcircled{1}} & k'_{22\textcircled{1}} + k'_{11\textcircled{2}} & k'_{12\textcircled{2}} \\ \Omega & k'_{21\textcircled{2}} & k'_{22\textcircled{2}} \end{bmatrix}; \Omega = 0$$

Como no hay ni desplazamientos ni giros en los empotramientos A y C, se puede simplificar eliminando las filas y columnas correspondientes (filas y columnas 1 y 3), quedando:

$$K'_{est} = [k'_{22\textcircled{1}} + k'_{11\textcircled{2}}]$$

$$K'_{est} = \begin{bmatrix} 818 & 0 & 486,7 \\ 0 & 150882,4 & 0 \\ 486,7 & 0 & 386,1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 47799,5 & -56510,4 & 216,9 \\ -56066,4 & 67154,5 & 182,1 \\ 216,9 & 182,1 & 294,5 \end{bmatrix} =$$

$$K'_{est} = \begin{bmatrix} 48617,5 & -56510,4 & 703,6 \\ -56066,4 & 218036,9 & 182,1 \\ 703,6 & 182,1 & 680,6 \end{bmatrix}$$

- Se calculan los desplazamientos y giros en el nudo B en ejes globales:

$$P' = K'_{est} \cdot \delta' \rightarrow \delta' = K'_{est}{}^{-1} \cdot P' ; P' = \begin{bmatrix} F_V \\ F_H \\ M \end{bmatrix}$$

$$\delta' = \begin{bmatrix} 48617,5 & -56510,4 & 703,6 \\ -56066,4 & 218036,9 & 182,1 \\ 703,6 & 182,1 & 680,6 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -1,46 \\ -1,70 \\ 1,80 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} X' = -1,17 \cdot 10^{-4}m \\ Y' = -4,02 \cdot 10^{-5}m \\ \theta' = 2,78 \cdot 10^{-3}rad \end{matrix}$$

- Se realiza la transformación de desplazamientos en ejes globales a ejes locales:

$$\delta^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1,17 \cdot 10^{-4} \\ -4,02 \cdot 10^{-5} \\ 2,78 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -4,02 \cdot 10^{-5} \\ 1,17 \cdot 10^{-4} \\ 2,78 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$\delta^{(2)} = \begin{bmatrix} 0,643 & -0,766 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,766 & 0,643 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,643 & -0,766 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,766 & 0,643 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -1,17 \cdot 10^{-4} \\ -4,02 \cdot 10^{-5} \\ 2,78 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4,44 \cdot 10^{-5} \\ -1,15 \cdot 10^{-4} \\ 2,78 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- A continuación se realiza el cálculo de esfuerzos de las barras en ejes locales:

$$E_i = K_i \cdot \delta_i + E_{i(1)} \quad [38]$$

## Barra 1

$$E_{\textcircled{1}} = \begin{bmatrix} 150882,4 & 0 & 0 & -150882,4 & 0 & 0 \\ 0 & 818 & 486,7 & 0 & -818 & 486,7 \\ 0 & 486,7 & 386,1 & 0 & -486,7 & 193,1 \\ -150882,4 & 0 & 0 & 150882,4 & 0 & 0 \\ 0 & -818 & -486,7 & 0 & 818 & -486,7 \\ 0 & 486,7 & 193,1 & 0 & -486,7 & 386,1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -4,02 \cdot 10^{-5} \\ 1,17 \cdot 10^{-4} \\ 2,78 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$E_{\textcircled{1}} = \begin{bmatrix} 6,07 \\ 1,26 \\ 0,48 \\ -6,07 \\ -1,26 \\ 1,02 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{array}{l} N_{1\textcircled{1}} = 6,07 \text{ kN} \\ V_{1\textcircled{1}} = 1,26 \text{ kN} \\ M_{1\textcircled{1}} = 0,48 \text{ mkN} \\ N_{2\textcircled{1}} = -6,07 \text{ kN} \\ V_{2\textcircled{1}} = -1,26 \text{ kN} \\ M_{2\textcircled{1}} = 1,02 \text{ mkN} \end{array}$$

## Barra 2

$$E_{\textcircled{2}} = \begin{bmatrix} 115096,2 & 0 & 0 & -115096,2 & 0 & 0 \\ 0 & 363,1 & 283,2 & 0 & -363,1 & 283,2 \\ 0 & 283,2 & 294,5 & 0 & -283,2 & 147,3 \\ -115096,2 & 0 & 0 & 115096,2 & 0 & 0 \\ 0 & -363,1 & -283,2 & 0 & 363,1 & -283,2 \\ 0 & 283,2 & 147,3 & 0 & -283,2 & 294,5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -4,44 \cdot 10^{-4} \\ -1,15 \cdot 10^{-5} \\ 2,78 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,06 \\ 0,21 \\ 0,10 \\ -0,24 \\ 1,79 \\ -0,40 \end{bmatrix}$$

$$E_{\textcircled{2}} = \begin{bmatrix} -5,17 \\ 0,96 \\ 0,87 \\ 4,87 \\ 1,04 \\ -0,02 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{aligned} N_{1\textcircled{2}} &= -5,17 \text{ kN} \\ V_{1\textcircled{2}} &= 0,96 \text{ kN} \\ M_{1\textcircled{2}} &= 0,87 \text{ mkN} \\ N_{2\textcircled{2}} &= 4,87 \text{ kN} \\ V_{2\textcircled{2}} &= 1,04 \text{ kN} \\ M_{2\textcircled{2}} &= -0,02 \text{ mkN} \end{aligned}$$

- Se representan las gráficas de axiles, cortantes, flectores, deformaciones y reacciones en los apoyos:

\*\* Valor del momento flector a lo largo de la Barra 2:

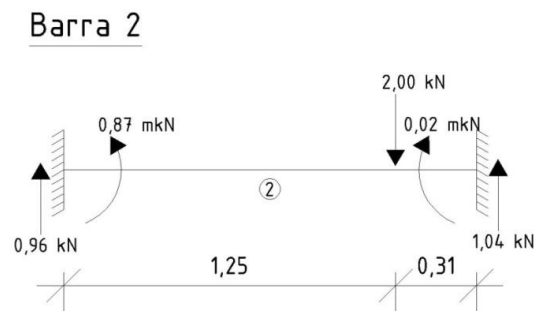


Ilustración 41. Cargas en barra 2

$$M(1,25) = M_{1\textcircled{2}} - \text{Área cortantes entre } x(0) \text{ y } x(1,25) = 0,87 - 0,96 \cdot 1,25 = 0,33 \text{ mkN}$$

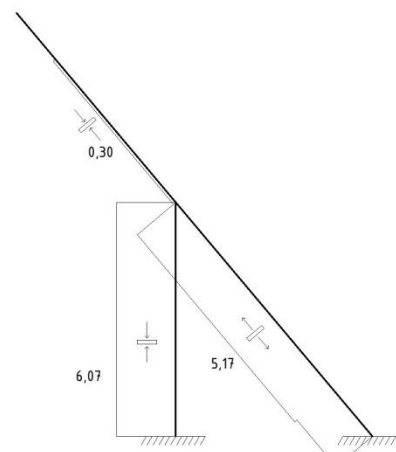


Diagrama axiles Nd [kN]

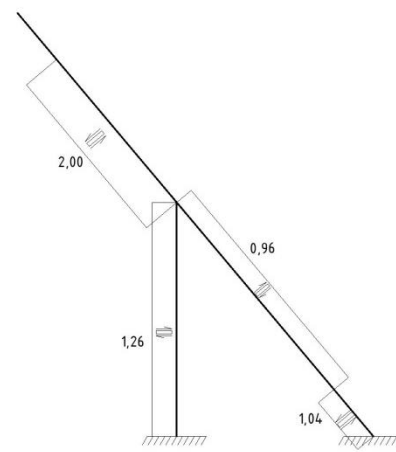


Diagrama cortantes Vd [kN]

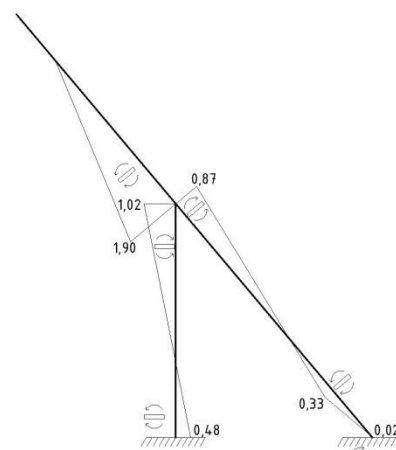
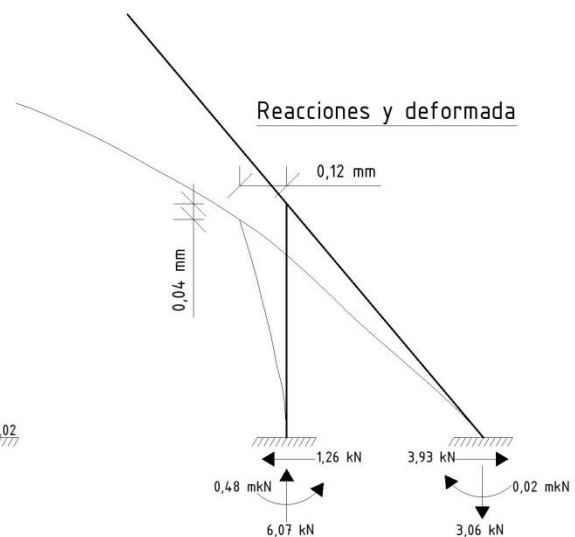


Diagrama flectores Md [mkN]



Reacciones y deformada

Ilustración 42. Esfuerzos y deformada en el marco (Hipótesis 1)

Cálculo de las reacciones en ejes globales:

Nudo A

$$RVA = N_{1①} = 6,07 \text{ kN } \uparrow$$

$$RHA = V_{1①} = 1,26 \text{ kN } \leftarrow$$

$$MA = M_{1①} = 0,48 \text{ mkN } \curvearrowright$$

Nudo B ;  $\beta = 50^\circ$

Instalación ACS paneles solares



$$RVC = N_{2②} \cdot \sin\beta - V_{2②} \cdot \cos\beta = 4,87 \cdot \sin 50 - 1,04 \cdot \cos 50 = 3,06 \text{ kN} \downarrow$$

$$RHC = N_{2②} \cdot \cos\beta + V_{2②} \cdot \sin\beta = 4,87 \cdot \cos 50 + 1,04 \cdot \sin 50 = 3,93 \text{ kN} \rightarrow$$

$$MC = M_{2②} = 0,02 \text{ mkN} \curvearrowright$$

Comprobación del análisis  $\rightarrow$  Cierre isostático de la estructura  $\rightarrow \Sigma FV = \Sigma FH =$   
 $\Sigma Mi = 0$

$$\Sigma FV = 0 \rightarrow 2 \cdot 1,52 + 3,06 - 6,07 = 0,03 \text{ kN} \approx 0 \text{ kN}$$

$$\Sigma FH = 0 \rightarrow 2 \cdot 1,34 + 1,26 - 3,93 = 0,01 \text{ kN} \approx 0 \text{ kN}$$

$$\Sigma Mi = 0 \rightarrow 0,48 - 0,02 + 1,52 \cdot 0,61 + 1,34 \cdot 1,92 - 1,52 \cdot 0,80 - 3,06 \cdot 1,00 + 1,34 \cdot 0,24 = 0 \text{ mkN}$$

La estructura está por lo tanto en equilibrio  $\rightarrow$  OK

## 6.2.2 Hipótesis 2 → Viento incidiendo sobre la cara posterior del captador

### 6.2.2.1 Análisis de la estructura.

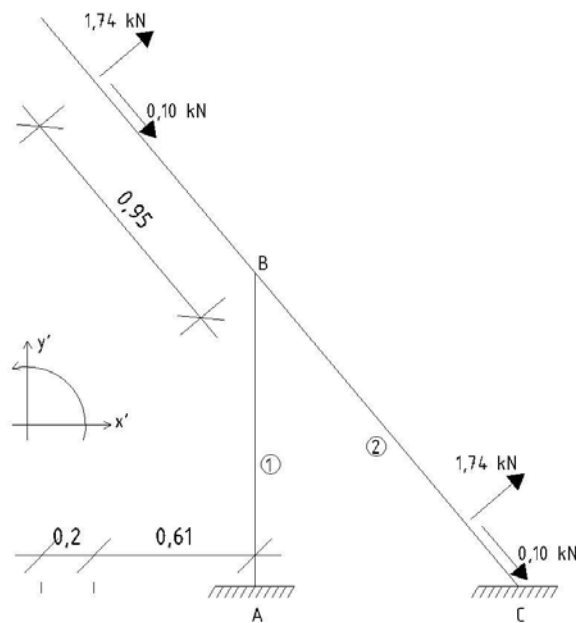


Ilustración 43. Cargas en el marco

El procedimiento es el mismo que con la Hipótesis 1

Primero se realiza el traslado de cargas al nudo B:

a.1) Momento debido a carga puntual en voladizo

$$M_B (\text{debido a carga } 1,74 \text{ kN}) = 1,74 \cdot 0,95 = 1,65 \text{ mkN } \curvearrowright$$

a.2) Fuerzas en ejes  $x'$  e  $y'$

$$F_{B,V} = 1,74 \cdot \cos 50 - 0,10 \cdot \sin 50 = 1,04 \text{ kN } \uparrow$$

$$F_{B,H} = 1,74 \cdot \sin 50 + 0,10 \cdot \cos 50 = 1,40 \text{ kN} \rightarrow$$

Paso de cargas aplicadas en la Barra 2 a los apoyos B y C

Se analiza la Barra 2 como si fuese una barra aislada biempotrada:

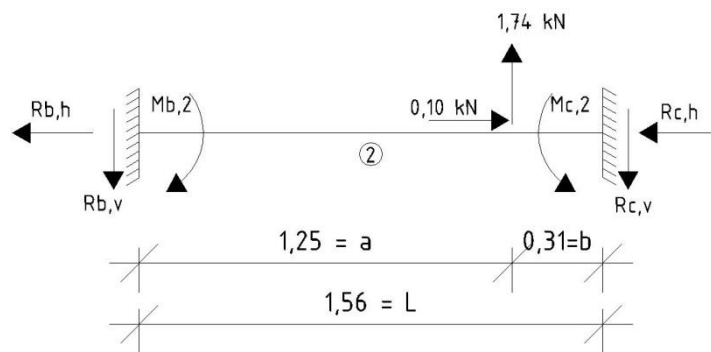


Ilustración 44. Cálculo de reacciones

b.1) Reacciones verticales (ejes locales de barra)

$$R_{B,V} = \frac{P \cdot b^2}{L^3} \cdot (L + 2 \cdot a) = \frac{1,74 \cdot 0,31^2}{1,56^3} \cdot (1,56 + 2 \cdot 1,25) = 0,18 \text{ kN} \downarrow$$

$$R_{C,V} = \frac{P \cdot a^2}{L^3} \cdot (L + 2 \cdot b) = \frac{1,74 \cdot 1,25^2}{1,56^3} \cdot (1,56 + 2 \cdot 0,31) = 1,56 \text{ kN} \downarrow$$

b.2) Fuerzas horizontales (ejes locales de barra)

$$\Sigma F_H = 0; R_{B,H} + R_{C,H} - 0,10 = 0 \quad (1)$$

$$\Delta L_a = \Delta L_b; \Delta L = \epsilon \cdot L; \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{N}{E \cdot A}; \Delta L = \frac{N \cdot L}{E \cdot A}; \text{ Si tomo } N = R_H \rightarrow \frac{R_{B,H} \cdot a}{E \cdot A} = \frac{R_{C,H} \cdot b}{E \cdot A}$$



Como A y E son constantes  $\rightarrow R_{B,H} \cdot a = R_{C,H} \cdot b \rightarrow R_{B,H} \cdot 1,25 = R_{C,H} \cdot 0,31$  (2)

$$\begin{bmatrix} (1) \\ (2) \end{bmatrix} \rightarrow R_{B,H} = 0,02 \text{ kN} \leftarrow ; R_{C,H} = 0,08 \text{ kN} \leftarrow$$

b.3) Momentos (ejes locales de barra)

$$M_{B,2} = \frac{P \cdot b \cdot a^2}{L^2} = \frac{1,74 \cdot 1,25 \cdot 0,31^2}{1,56^2} = 0,09 \text{ mN} \curvearrowright$$

$$M_{C,2} = \frac{P \cdot a^2 \cdot b}{L^2} = \frac{1,74 \cdot 1,25^2 \cdot 0,31}{1,56^2} = 0,35 \text{ mN} \curvearrowleft$$

El momento total en el nudo B =  $1,65 - 0,09 = 1,56 \text{ mN} \curvearrowright$

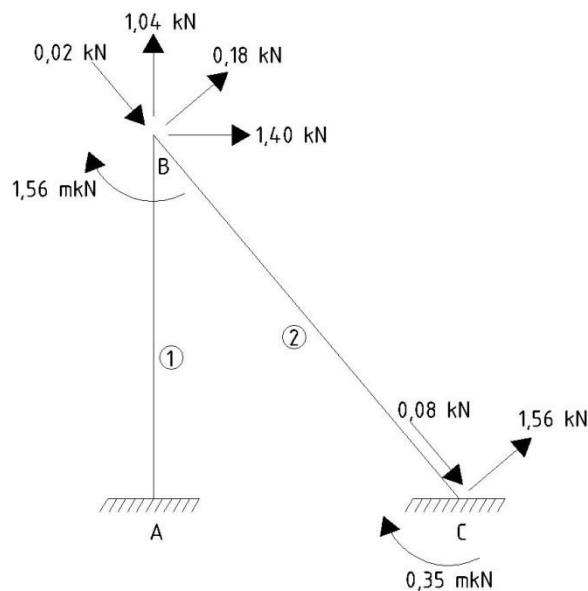


Ilustración 45. Cargas en los nodos

Por último, todas las cargas deben estar en ejes globales  $x'$  e  $y'$

Nudo B

$$F_{y'B} = 1,04 + 0,18 \cdot \cos 50 - 0,02 \cdot \sin 50 = 1,14 \text{ kN} \uparrow$$

$$F_{x'B} = 1,40 + 0,18 \cdot \sin 50 + 0,02 \cdot \cos 50 = 1,55 \text{ kN} \rightarrow$$

Nudo C

$$F_{y'C} = 1,56 \cdot \cos 50 - 0,08 \cdot \sin 50 = 0,94 \text{ kN} \uparrow$$

$$F_{x'C} = 1,56 \cdot \sin 50 + 0,08 \cdot \cos 50 = 1,25 \text{ kN} \rightarrow$$

El resultado final de trasladar las cargas a los nudos y ponerlas en ejes globales, para el Estado (0), es el siguiente:

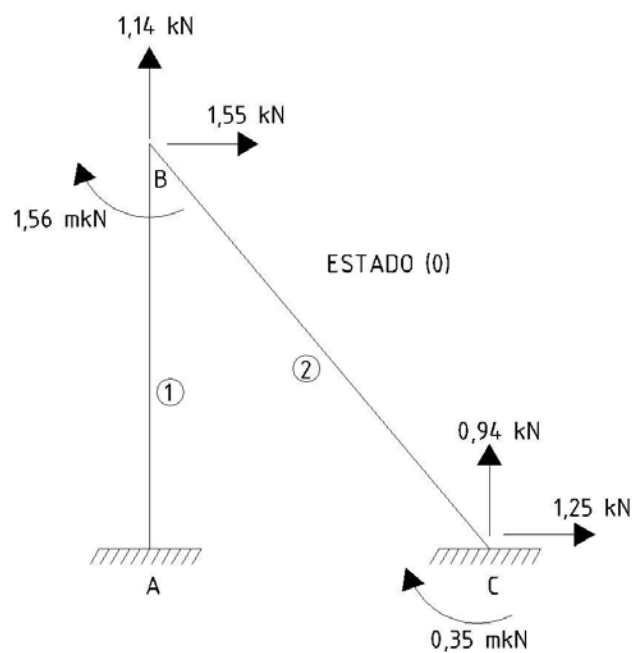


Ilustración 46. Estado 0 del marco

Además, y puesto que hay cargas aplicadas a lo largo de la Barra 2, las reacciones de dicha barra aislada (Estado I) son las siguientes:

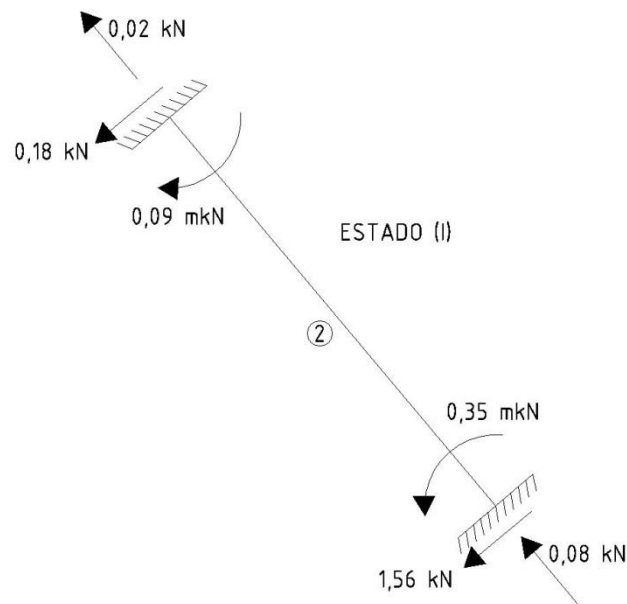


Ilustración 47. Cargas en la barra 2

Puesto que la estructura es la misma que en la Hipótesis 1, servirá su matriz de rigidez de estructura en ejes globales  $K'_{est}$ , las matrices de las barras y las de transformación.

Desplazamientos y giros en el nudo B en ejes globales:

$$P' = K'_{est} \cdot \delta' \rightarrow \delta' = K'_{est}{}^{-1} \cdot P' ; P' = \begin{bmatrix} F_V \\ F_H \\ M \end{bmatrix}$$

$$\delta' = \begin{bmatrix} 48617,5 & -56510,4 & 703,6 \\ -56066,4 & 218036,9 & 182,1 \\ 703,6 & 182,1 & 680,6 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1,55 \\ 1,14 \\ -1,56 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} X' = 1,07 \cdot 10^{-4} m \\ Y' = 3,48 \cdot 10^{-5} m \\ \theta' = -2,41 \cdot 10^{-3} rad \end{matrix}$$

Transformación de desplazamientos en ejes globales a ejes locales:

$$\delta_{\textcircled{1}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1,07 \cdot 10^{-4} \\ 3,48 \cdot 10^{-5} \\ -2,41 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3,48 \cdot 10^{-5} \\ -1,07 \cdot 10^{-4} \\ -2,41 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$\delta_{\textcircled{2}} = \begin{bmatrix} 0,643 & -0,766 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,766 & 0,643 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,643 & -0,766 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,766 & 0,643 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1,07 \cdot 10^{-4} \\ 3,48 \cdot 10^{-5} \\ -2,41 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 4,21 \cdot 10^{-5} \\ 1,04 \cdot 10^{-4} \\ -2,41 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Cálculo de esfuerzos de las barras en ejes locales:

$$E_i = K_i \cdot \delta_i + E_{i(1)}$$

Barra 1

$$E_{\textcircled{1}} = \begin{bmatrix} 150882,4 & 0 & 0 & -150882,4 & 0 & 0 \\ 0 & 818 & 486,7 & 0 & -818 & 486,7 \\ 0 & 486,7 & 386,1 & 0 & -486,7 & 193,1 \\ -150882,4 & 0 & 0 & 150882,4 & 0 & 0 \\ 0 & -818 & -486,7 & 0 & 818 & -486,7 \\ 0 & 486,7 & 193,1 & 0 & -486,7 & 386,1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3,48 \cdot 10^{-5} \\ -1,07 \cdot 10^{-4} \\ -2,41 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$E_{①} = \begin{bmatrix} -5,25 \\ -1,09 \\ -0,41 \\ 5,25 \\ 1,09 \\ -0,88 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{aligned} N_{1①} &= -5,25 \text{ kN} \\ V_{1①} &= -1,09 \text{ kN} \\ M_{1①} &= -0,41 \text{ mkN} \\ N_{2①} &= 5,25 \text{ kN} \\ V_{2①} &= 1,09 \text{ kN} \\ M_{2①} &= -0,88 \text{ mkN} \end{aligned}$$

## Barra 2

$$E_{②} = \begin{bmatrix} 115096,24 & 0 & 0 & -115096,2 & 0 & 0 \\ 0 & 363,1 & 283,2 & 0 & -363,1 & 283,2 \\ 0 & 283,2 & 294,5 & 0 & -283,2 & 147,3 \\ -115096,2 & 0 & 0 & 115096,2 & 0 & 0 \\ 0 & -363,1 & -283,2 & 0 & 363,1 & -283,2 \\ 0 & 283,2 & 147,3 & 0 & -283,2 & 294,5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 4,21 \cdot 10^{-5} \\ 1,04 \cdot 10^{-4} \\ -2,41 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,02 \\ -0,18 \\ -0,09 \\ -0,08 \\ -1,56 \\ 0,35 \end{bmatrix}$$

$$E_{②} = \begin{bmatrix} 4,83 \\ -0,82 \\ -0,77 \\ -4,93 \\ -0,92 \\ 0,02 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{aligned} N_{1②} &= 4,83 \text{ kN} \\ V_{1②} &= -0,82 \text{ kN} \\ M_{1②} &= -0,77 \text{ mkN} \\ N_{2②} &= -4,93 \text{ kN} \\ V_{2②} &= -0,92 \text{ kN} \\ M_{2②} &= 0,02 \text{ mkN} \end{aligned}$$

Gráficas de axiles, cortantes, flectores, deformaciones y reacciones en los apoyos:

\*\* Valor del momento flector a lo largo de la Barra 2:

### Barra 2

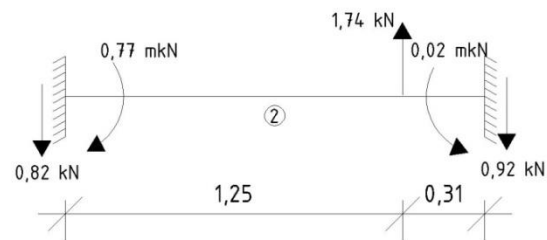


Ilustración 48. Cargas en barra 2

$$M(1,25) = M_{1(2)} - \text{Área cortantes entre } x(0) \text{ y } x(1,25) = 0,77 - 0,82 \cdot 1,25 = 0,26 \text{ mkN}$$

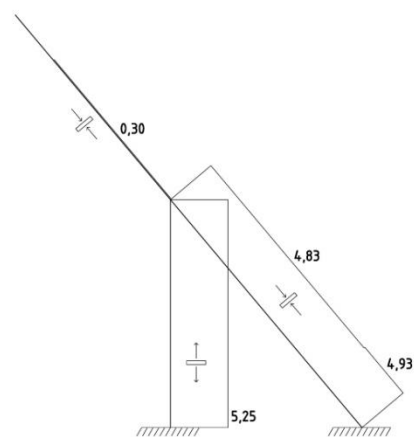


Diagrama axiles Nd [kN]

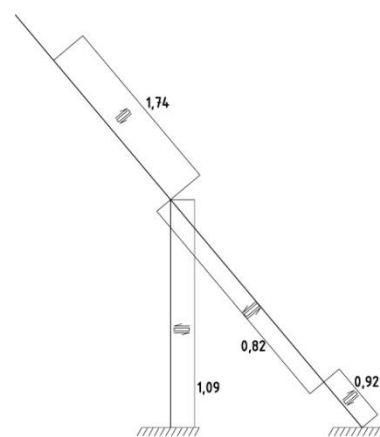


Diagrama cortantes Vd [kN]

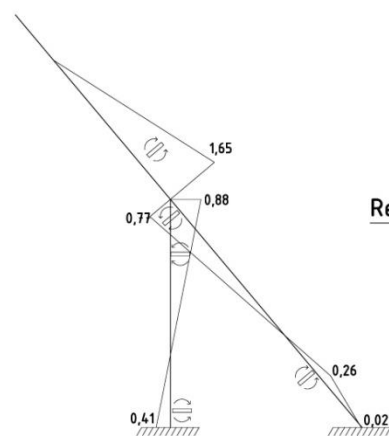


Diagrama flectores Md [mKn]

Reacciones y deformada

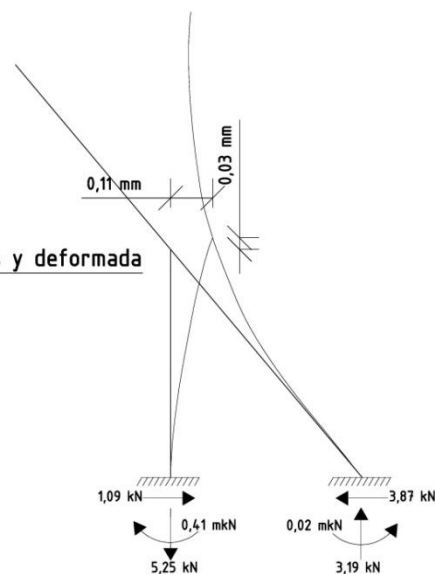


Ilustración 49. Esfuerzos y deformada en marco (Hipótesis 2)

Cálculo de las reacciones en ejes globales:

Nudo A

$$RVA = N_{1①} = 5,25 \text{ kN} \downarrow$$

$$RHA = V_{1①} = 1,09 \text{ kN} \rightarrow$$

$$MA = M_{1①} = 0,41 \text{ mKn} \curvearrowright$$

Nudo B ;  $\beta = 50^\circ$

Instalación ACS paneles solares

$$RVC = N_{2②} \cdot \operatorname{sen}\beta - V_{2②} \cdot \cos\beta = 4,93 \cdot \operatorname{sen}50 - 0,92 \cdot \cos50 = 3,19 \text{ kN } \uparrow$$

$$RHC = N_{2②} \cdot \cos\beta + V_{2②} \cdot \operatorname{sen}\beta = 4,93 \cdot \cos50 + 0,92 \cdot \operatorname{sen}50 = 3,87 \text{ kN } \leftarrow$$

$$MC = M_{2②} = 0,02 \text{ mkN } \curvearrowright$$

Comprobación del análisis  $\rightarrow$  Cierre isostático de la estructura  $\rightarrow \Sigma FV = \Sigma FH = \Sigma Mi = 0$

$$\Sigma FV = 0 \rightarrow 2 \cdot 1,04 + 3,19 - 5,25 = 0,02 \text{ kN } \approx 0 \text{ kN}$$

$$\Sigma FH = 0 \rightarrow 2 \cdot 1,40 + 1,09 - 3,87 = 0,02 \text{ kN } \approx 0 \text{ kN}$$

$$\Sigma Mi = 0 \rightarrow -0,41 + 0,02 - 1,04 \cdot 0,61 - 1,40 \cdot 1,92 + 1,04 \cdot 0,80 - 1,40 \cdot 0,24 + 3,19 \cdot 1,00 = 0 \text{ mkN}$$

La estructura está por lo tanto en equilibrio  $\rightarrow$  OK

### 6.2.2.2 Comprobación estructural

Se comprueba la idoneidad del perfil de acero laminado rectangular hueco #70.50.4 en acero S275. Frente a la rotura frágil del acero, se selecciona el grado del mismo. Según Tabla 4.2 de DB SE-A, para una temperatura mínima de trabajo en Colmenar Viejo de  $-10^{\circ}\text{C}$  (según base de datos meteorológica consultada), para un acero S275, el espesor máximo a utilizar será de 35 mm con grado JR, valor suficiente para los perfiles previstos (espesor 4 mm)  $\rightarrow$  Acero S275 JR



### 6.2.2.3 Barra 1.

#### 6.2.2.3.1 ELU de Inestabilidad en piezas comprimidas y flectadas.

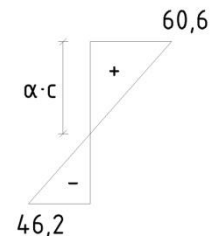
La sección más desfavorable se encuentra en el extremo B de la barra en la Hipótesis 1.

$$N_d = 6,07 \text{ kN} ; M_{yd} = 1,02 \text{ m kN} ; M_{zd} = 0 \text{ m kN}$$

Selección del tipo de sección transversal [39]

a) Almas (flexocompresión)

Si se supone que la Clase es 1 o 2:



$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W_{pl}} = \frac{6,07 \cdot 10^3}{841} \pm \frac{1,02 \cdot 10^6}{19,1 \cdot 10^3} \rightarrow \begin{matrix} \sigma_{\text{máx}} = 60,6 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{\text{mín}} = -46,2 \text{ N/mm}^2 \end{matrix}$$

La altura interior de las “almas” del perfil es de  $\rightarrow c = 70 - 2 \cdot 4 = 62 \text{ mm}$

$$\frac{60,6 + 46,2}{62} = \frac{60,6}{\alpha \cdot c} \rightarrow \alpha \cdot c = 35,2 \text{ mm} ; \alpha = \frac{35,2}{62} = 0,57 > 0,50 \text{ (TABLA 5.3)}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{62}{4} = 15,5 ; \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924 ;$$

Para que pueda ser considerada la sección como de Clase 1, se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{396 \cdot \epsilon}{13 \cdot \alpha - 1} > \frac{c}{t} \rightarrow \frac{396 \cdot 0,924}{13 \cdot 0,57 - 1} > \frac{c}{t} \rightarrow 57,08 > 15,5 \rightarrow \text{Clase 1}$$

## b) Alas (Compresión)

$$c = 50 - 2 \cdot 4 = 42 \text{ mm} ; \frac{c}{t} = \frac{42}{4} = 10,5 ;$$

Para que pueda ser considerada la sección como de Clase 1, se debe cumplir la siguiente condición:

$$33 \cdot \epsilon > \frac{c}{t} \rightarrow 33 \cdot 0,924 > 10,5 \rightarrow 30,49 > 10,5 \rightarrow \text{Clase 1}$$

Ambos elementos son de Clase 1  $\rightarrow$  Sección transversal Clase 1  $\rightarrow$  Puede formar rótulas plásticas.

Comprobaciones para piezas no susceptibles de pandeo por torsión:

$$\frac{N_d}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot c_{m,y} \cdot \frac{M_{yd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot c_{m,z} \cdot \frac{M_{zd}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1,00$$

$$\frac{N_d}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot c_{m,y} \cdot \frac{M_{yd}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot c_{m,z} \cdot \frac{M_{zd}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1,00$$

$$\lambda'_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} ; N_{cr,y} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I_y ; L_k = \beta \cdot L ; \beta = \text{coeficiente de pandeo}$$

Para hallar el coeficiente de pandeo, primero hay que saber si el pórtico al que pertenece la barra es traslacional o intraslacional. Para ello, ha de cumplirse la siguiente condición:

$$r = \frac{V_{Ed}}{H_{Ed}} \cdot \frac{\delta_{H,d}}{h} < 0,1 \quad 5.3.1$$

Al haber solo 1 “planta”, la suma del esfuerzo cortante de los dos pilares del pórtico es igual a la fuerza horizontal total ejercida sobre el mismo, es decir:

$$\frac{V_{Ed}}{H_{Ed}} = 1,00$$

Por otro lado, el desplazamiento horizontal se halló junto con el análisis estructural  $\delta_{H,d} = 0,12 \text{ mm}$

$$r = 1,00 \cdot \frac{0,12}{1190} = 1,01 \cdot 10^{-4} < 0,1 \rightarrow \text{Pórtico intraslacional}$$

En ese caso, el valor del coeficiente de pandeo se deduce de la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{1 + 0,145 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,265 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{2 - 0,364 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,247 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}$$

$$\eta_1 = \frac{k_c + k_1}{k_c + k_1 + k_{11} + k_{12}}$$

$$k_c (\text{pilar}) = \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 53 \cdot 10^4}{1190} = 3,74 \cdot 10^8$$

$k_1 = 0$  (No hay ningún “pilar” encima)

$k_{11} = 0$  (Es un voladizo, no una viga)

$$k_{12} (\text{viga}) = \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 53 \cdot 10^4}{1560} = 2,85 \cdot 10^8$$

$$\eta_1 = \frac{3,74 \cdot 10^8}{3,74 \cdot 10^8 + 2,85 \cdot 10^8} = 0,568 ; \eta_2 = 0 \text{ (No hay ningún “piso” debajo de la “planta” estudiada)}$$

$$\beta = \frac{1 + 0,145 \cdot 0,568 - 0,265 \cdot 0,568 \cdot 0}{2 - 0,364 \cdot 0,568 - 0,247 \cdot 0,568 \cdot 0} = 0,604$$

$$N_{cr,y} = \left( \frac{\pi}{0,604 \cdot 1190} \right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 53 \cdot 10^4 = 2126,3 \text{ kN}$$

$$\lambda'_y = \sqrt{\frac{841 \cdot 275}{2126,3 \cdot 10^3}} = 0,33 \rightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{Tubo laminado caliente} \\ \text{Acero S275} \\ \text{Eje "y"} \end{array} \right] \rightarrow \text{Curva "a"} \rightarrow \chi_y = 0,971$$

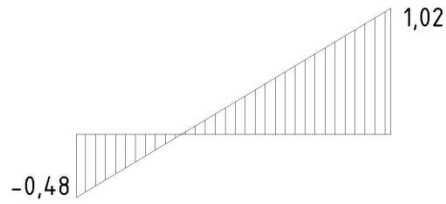
(TABLA 6.3)

$$N_{cr,z} = \left( \frac{\pi}{0,604 \cdot 1190} \right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 31,4 \cdot 10^4 = 1259,7 \text{ kN}$$

$$\lambda'_z = \sqrt{\frac{841 \cdot 275}{1259,7 \cdot 10^3}} = 0,43 \rightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{Tubo laminado caliente} \\ \text{Acero S275} \\ \text{Eje "z"} \end{array} \right] \rightarrow \text{Curva "a"} \rightarrow \chi_z = 0,941$$

$$\lambda'_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}; \quad M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z}$$



$$C_1 \rightarrow \text{Ley de momentos flectores} \rightarrow \Psi \approx \frac{-1}{2} \rightarrow C_1$$

$$= 2,7$$

$L_c$  = distancia entre apoyos laterales que impiden el pandeo lateral =  $L = 1190$

mm

$$M_{LTV} = 2,7 \cdot \frac{\pi}{1190} \cdot \sqrt{8,1 \cdot 10^4 \cdot 67,6 \cdot 10^4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 31,4 \cdot 10^4} = 428,3 \text{ mkN}$$

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{f,z}}{A_f}};$$

Dónde:

$I_{f,z}$  = momento de inercia respecto al eje "z" del ala comprimida y un tercio del alma comprimida adyacente al ala comprimida.

$A_f$  = Área de la sección compuesta por el ala comprimida y el tercio del alma comprimida adyacente al ala comprimida.

Según se ha determinado con anterioridad, la parte del alma comprimida ocupa 35,2 mm. El esquema para hallar ambas características de la sección es el siguiente:

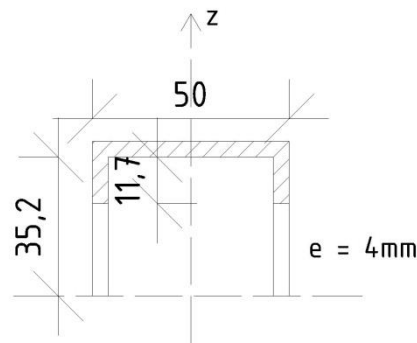


Ilustración 50. Esquema sección, cálculo  $A_f$

$$I_{f,z} = \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 50^3 + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 11,7 \cdot 4^3 + 11,7 \cdot 4 \cdot 232 \right) = 9,13 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_f = 50 \cdot 4 + 2 \cdot 11,7 \cdot 4 = 293,6 \text{ mm}^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{9,13 \cdot 10^4}{293,6}} = 17,6 \text{ mm}$$

$$MLTW = 15,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{1190^2} \cdot 2,7 \cdot 17,62 = 18,5 \text{ m kN}$$

$$M_{cr} = \sqrt{428,3^2 + 18,5^2} = 428,7 \text{ m kN}$$

$$\lambda'_{LT} = \sqrt{\frac{19,1 \cdot 10^3 \cdot 275}{428,7 \cdot 10^6}} = 0,11 < 0,40 \rightarrow \chi_{LT} = 1,00$$

$$k_y = 1 + (\lambda'_y - 0,2) \cdot \frac{N_d}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} = 1 + (0,33 - 0,2) \cdot \frac{6,07 \cdot 10^3}{0,971 \cdot 841 \cdot \frac{275}{1,05}} = 1,00$$

$$c_{m,y} \rightarrow \psi \approx \frac{-1}{2} \rightarrow c_{m,y} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot \left(\frac{-1}{2}\right) = 0,40$$

$$\alpha_y = 0,60$$

$$\frac{6,07 \cdot 10^3}{0,971 \cdot 841 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,00 \cdot 0,40 \cdot \frac{1,02 \cdot 10^6}{1,00 \cdot 19,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,11 < 1,00 \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

$$\frac{6,07 \cdot 10^3}{0,941 \cdot 841 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,60 \cdot 1,00 \cdot 0,40 \cdot \frac{1,02 \cdot 10^6}{19,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,11 < 1,00 \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

### 2.3.1.2. ELU Resistencia a cortante.

$$V_d \leq V_{pl,Rd} \quad ; \quad V_{d,m\acute{a}x} = 1,26 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2 \cdot h \cdot t_w \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2 \cdot 70 \cdot 4 \cdot \frac{\frac{275}{1,05}}{\sqrt{3}} = 84,68 \text{ kN} > 1,26 \text{ kN} \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

**VÁLIDO PERFIL #70.50.4 EN BARRA 1**

#### 6.2.2.4. Barra 2.

##### 6.2.2.4.1. ELU de Inestabilidad en piezas comprimidas y flectadas.

La sección más desfavorable se encuentra en el extremo B de la barra en la Hipótesis 2.

$$N_d = 4,83 \text{ kN} ; M_{yd} = 1,02 \text{ mkN} ; M_{zd} = 0 \text{ mkN}$$

Comprobaciones para piezas no susceptibles de pandeo por torsión:

$$\frac{N_d}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot c_{m,y} \cdot \frac{M_{yd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot c_{m,z} \cdot \frac{M_{zd}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1,00$$

$$\frac{N_d}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot c_{m,y} \cdot \frac{M_{yd}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot c_{m,z} \cdot \frac{M_{zd}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1,00$$

$$\lambda'_{y} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} ; N_{cr,y} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I_y ; L_k = \beta \cdot L ; \beta = \text{coeficiente de pandeo}$$

Pórtico intraslacional:

En ese caso, el valor del coeficiente de pandeo se deduce de la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{1 + 0,145 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,265 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{2 - 0,364 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,247 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}$$

$$\eta_1 = \frac{k_c + k_1}{k_c + k_1 + k_{11} + k_{12}}$$

$$k_c (\text{pilar}) = \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 53 \cdot 10^4}{1190} = 3,74 \cdot 10^8$$

$k_1 = 0$  (No hay ningún “pilar” encima)

$k_{11} = 0$  (Es un voladizo, no una viga)

$$k_{12} (\text{viga}) = \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 53 \cdot 10^4}{1560} = 2,85 \cdot 10^8$$

$$\eta_1 = \frac{2,85 \cdot 10^8}{3,74 \cdot 10^8 + 2,85 \cdot 10^8} = 0,432 \quad ; \eta_2 = 0 \text{ (No hay ningún “piso” debajo de la “planta” estudiada.)}$$

$$\beta = \frac{1 + 0,145 \cdot 0,432 - 0,265 \cdot 0,432 \cdot 0}{2 - 0,364 \cdot 0,432 - 0,247 \cdot 0,432 \cdot 0} = 0,577$$

$$N_{cr,y} = \left( \frac{\pi}{0,577 \cdot 1560} \right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 53 \cdot 10^4 = 1355,8 \text{ kN}$$

$$\lambda'_y = \sqrt{\frac{841 \cdot 275}{1355,8 \cdot 10^3}} = 0,41 \rightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{Tubo laminado caliente} \\ \text{Acero S275} \\ \text{Eje "y"} \end{array} \right] \rightarrow \text{Curva "a"} \rightarrow \chi_y = 0,947$$

$$N_{cr,z} = \left( \frac{\pi}{0,577 \cdot 1560} \right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 31,4 \cdot 10^4 = 803,2 \text{ kN}$$

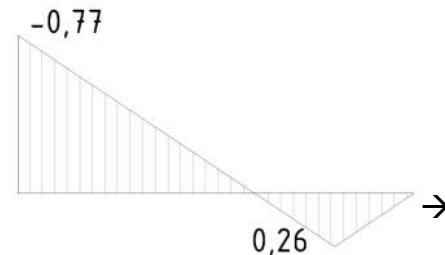
$$\lambda'_z = \sqrt{\frac{841 \cdot 275}{1259,7 \cdot 10^3}} = 0,43 \rightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{Tubo laminado caliente} \\ \text{Acero S275} \\ \text{Eje "z"} \end{array} \right] \rightarrow \text{Curva "a"} \rightarrow \chi_z = 0,908$$

$$\lambda'_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}; \quad M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z}$$

$C_1 \rightarrow$  Ley de momentos flectores  $\rightarrow$

$$k_c = 0,82$$





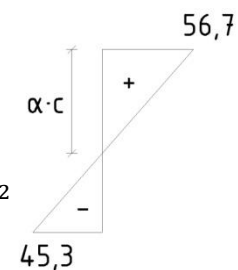
Se recurre a la Tabla 35.2.2.1.B de la Instrucción de Acero Estructural EAE:

$$C1 = \frac{1}{(k_c)^2} = \frac{1}{0,82^2} = 1,487$$

$$MLTV = 1,487 \cdot \frac{\pi}{1560} \cdot \sqrt{8,1 \cdot 10^4 \cdot 67,6 \cdot 10^4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 31,4 \cdot 10^4} = 179,9 \text{ mkN}$$

$$MLTW = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W_{el,y}} = \frac{4,83 \cdot 10^3}{841} \pm \frac{0,77 \cdot 10^6}{15,1 \cdot 10^3} \rightarrow \begin{matrix} \sigma_{\text{máx}} = 56,7 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{\text{mín}} = -45,3 \text{ N/mm}^2 \end{matrix}$$



$$\frac{56,7 + 45,3}{62} = \frac{56,7}{\alpha \cdot c} \rightarrow \alpha \cdot c = 34,5 \text{ mm}$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{f,z}}{A_f}}$$

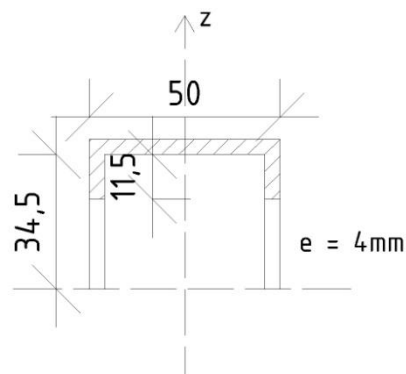


Ilustración 51. Esquema sección cálculo Af

$$I_{f,z} = \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 50^3 + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 11,5 \cdot 4^3 + 11,5 \cdot 4 \cdot 232 \right) = 9,05 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_f = 50 \cdot 4 + 2 \cdot 11,5 \cdot 4 = 292 \text{ mm}^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{9,05 \cdot 10^4}{292}} = 17,6 \text{ mm}$$

$$MLTW = 15,1 \cdot 103 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{1560^2} \cdot 1,487 \cdot 17,62 = 5,92 \text{ mkN}$$

$$M_{cr} = \sqrt{179,9^2 + 5,92^2} = 180 \text{ mkN}$$

$$\lambda'_{LT} = \sqrt{\frac{19,1 \cdot 10^3 \cdot 275}{180 \cdot 10^6}} = 0,17 < 0,40 \rightarrow \chi_{LT} = 1,00$$

$$k_y = 1 + (\lambda'_y - 0,2) \cdot \frac{N_d}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} = 1 + (0,41 - 0,2) \cdot \frac{4,83 \cdot 10^3}{0,947 \cdot 841 \cdot \frac{275}{1,05}} = 1,00$$

$$c_{m,y} \rightarrow \text{Tabla 35.3.c(c) de la Instrucción de Acero Estructural EAE} \rightarrow c_{m,y} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s$$

$$\psi = 0 ; \alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,26}{0,77} = 0,34 \rightarrow c_{m,y} = 0,2 + 0,8 \cdot 0,34 = 0,472$$

$$\alpha_y = 0,60$$

$$\frac{4,83 \cdot 10^3}{0,947 \cdot 841 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,00 \cdot 0,472 \cdot \frac{0,77 \cdot 10^6}{1,00 \cdot 19,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,10 < 1,00 \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

$$\frac{4,83 \cdot 10^3}{0,908 \cdot 841 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,60 \cdot 1,00 \cdot 0,472 \cdot \frac{0,77 \cdot 10^6}{19,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,07 < 1,00 \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

#### 6.2.2.4.2 ELU Resistencia a cortante.

$$V_d \leq V_{pl,Rd} \quad ; \quad V_{d,m\acute{a}x} = 0,92 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2 \cdot h \cdot t_w \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2 \cdot 70 \cdot 4 \cdot \frac{\frac{275}{1,05}}{\sqrt{3}} = 84,68 \text{ kN} > 0,92 \text{ kN} \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

#### **VÁLIDO PERFIL #70.50.4 EN BARRA 2**

#### 6.2.2.5 Voladizo.

##### 6.2.2.5.1. ELU de Inestabilidad en piezas comprimidas y flectadas.

La sección más desfavorable se encuentra en el extremo B de la barra en la Hipótesis 1.

$$N_d = 0,30 \text{ kN} \quad ; \quad M_{yd} = 1,90 \text{ mkN} \quad ; \quad M_{zd} = 0 \text{ mkN}$$

Comprobaciones para piezas no susceptibles de pandeo por torsión:

$$\frac{N_d}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot c_{m,y} \cdot \frac{M_{yd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot c_{m,z} \cdot \frac{M_{zd}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1,00$$

$$\frac{N_d}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot c_{m,y} \cdot \frac{M_{yd}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot c_{m,z} \cdot \frac{M_{zd}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1,00$$

$$\lambda'_{y} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} \quad ; \quad N_{cr,y} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I_y \quad ; \quad L_k = \beta \cdot L \quad ; \quad \beta = \text{coeficiente de pandeo}$$

Al ser una pieza empotrada-volada, se utilizará las “barras canónicas”. En este caso, se consideran 2 coeficientes de pandeo distintos en función del eje estudiado:

Pandeo en eje “y” → Se considera que la barra está empotrada en su base y sin coacción de movimiento (libre) en cabeza →  $\beta_y = 2,00$

Pandeo en eje “z” → Se considera que, al estar unidos ambos marcos por medio de la correa, dicho elemento coarta el movimiento en ese plano, y por lo tanto se puede considerar empotrado en su base y apoyado en cabeza →  $\beta_z = 0,70$

$$N_{cr,y} = \left( \frac{\pi}{2,00 \cdot 950} \right)^2 \cdot 2,1 \cdot 105 \cdot 53 \cdot 104 = 304,3 \text{ kN}$$

$$\lambda'_y = \sqrt{\frac{841 \cdot 275}{304,3 \cdot 10^3}} = 0,87 \rightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{Tubo laminado caliente} \\ \text{Acero S275} \\ \text{Eje "y"} \end{array} \right] \rightarrow \text{Curva "a"} \rightarrow \chi_y = 0,751$$

$$N_{cr,z} = \left( \frac{\pi}{0,70 \cdot 950} \right)^2 \cdot 2,1 \cdot 105 \cdot 31,4 \cdot 104 = 1471,7 \text{ kN}$$

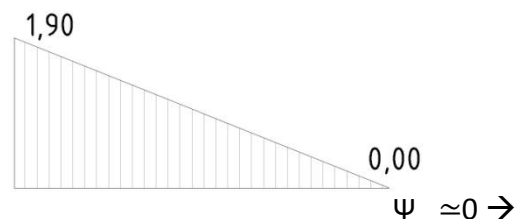
$$\lambda'_z = \sqrt{\frac{841 \cdot 275}{1471,7 \cdot 10^3}} = 0,40 \rightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{Tubo laminado caliente} \\ \text{Acero S275} \\ \text{Eje "z"} \end{array} \right] \rightarrow \text{Curva "a"} \rightarrow \chi_z = 0,95$$

$$\lambda'_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}; \quad M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

$$M_{LTV} = C1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z}$$

C1 → Ley de momentos flectores →

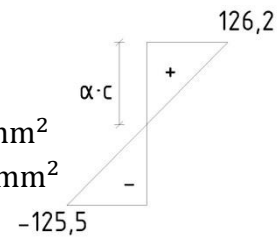
→ C1 = 1,88



$$MLTV = 1,88 \cdot \frac{\pi}{950} \cdot \sqrt{8,1 \cdot 10^4 \cdot 67,6 \cdot 10^4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 31,4 \cdot 10^4} = 373,6 \text{ mN}$$

$$MLTW = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W_{el,y}} = \frac{0,30 \cdot 10^3}{841} \mp \frac{1,90 \cdot 10^6}{15,1 \cdot 10^3} \rightarrow \begin{matrix} \sigma_{\text{máx}} = 126,2 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{\text{mín}} = -125,5 \text{ N/mm}^2 \end{matrix}$$



$$\frac{126,2 + 125,5}{62} = \frac{126,2}{\alpha \cdot c} \rightarrow \alpha \cdot c = 31,1 \text{ mm}$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{f,z}}{A_f}};$$

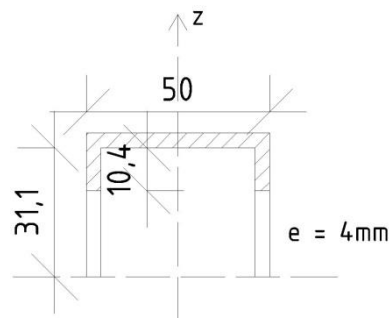


Ilustración 52. Esquema sección cálculo  $A_f$

$$I_{f,z} = \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 50^3 + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 10,4 \cdot 4^3 + 10,4 \cdot 4 \cdot 23^2 \right) = 8,58 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_f = 50 \cdot 4 + 2 \cdot 10,4 \cdot 4 = 283,2 \text{ mm}^2$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{8,58 \cdot 10^4}{283,2}} = 17,4 \text{ mm}$$

$$M_{LTW} = 15,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{950^2} \cdot 1,88 \cdot 17,4^2 = 19,7 \text{ mkN}$$

$$M_{cr} = \sqrt{373,6^2 + 19,7^2} = 374,1 \text{ mkN}$$

$$\lambda'_{LT} = \sqrt{\frac{19,1 \cdot 10^3 \cdot 275}{374,1 \cdot 10^6}} = 0,12 < 0,40 \rightarrow \chi_{LT} = 1,00$$

$$k_y = 1 + (\lambda'_y - 0,2) \cdot \frac{N_d}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} = 1 + (0,87 - 0,2) \cdot \frac{0,30 \cdot 10^3}{0,751 \cdot 841 \cdot \frac{275}{1,05}} = 1,00$$

$$c_{m,y} \rightarrow \text{Tabla 6.7 DB SE-A} \rightarrow c_{m,y} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi$$



$$\Psi = 0 \rightarrow c_{m,y} = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,60$$

$$\alpha_y = 0,60$$

$$a) \frac{0,30 \cdot 10^3}{0,751 \cdot 841 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,00 \cdot 0,60 \cdot \frac{1,90 \cdot 10^6}{1,00 \cdot 19,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,23 < 1,00 \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

$$b) \frac{0,30 \cdot 10^3}{0,95 \cdot 841 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,60 \cdot 1,00 \cdot 0,60 \cdot \frac{1,90 \cdot 10^6}{19,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,14 < 1,00 \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

#### 6.2.2.5.2 ELU Resistencia a cortante.

$$V_d \leq V_{pl,Rd} ; V_{d,m\acute{a}x} = 2,00 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2 \cdot h \cdot t_w \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2 \cdot 70 \cdot 4 \cdot \frac{\frac{275}{1,05}}{\sqrt{3}} = 84,68 \text{ kN} > 2,00 \text{ kN} \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

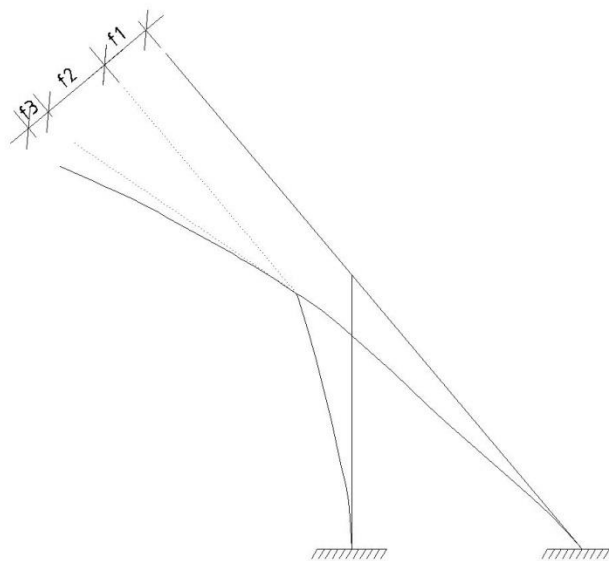
#### 2.3.4. Conjunto Barra 2 – Voladizo

#### 6.2.2.5.3 ELS Deformación.

Para la hipótesis más cargada (Hipótesis 1), se comprueba la deformación del conjunto Barra 2 – Voladizo, para comprobar que la deformación en el tramo donde se apoya el captador es admisible. Se aplica para ello una flecha admisible de:

$$f_{adm} = \frac{L}{400} = \frac{2200}{400} = 5,5 \text{ mm}$$

La flecha total del conjunto se obtiene sumando 3 flechas parciales  $\rightarrow f_{tot} = f_1 + f_2 + f_3$



**Ilustración 53. Flecha voladizo**

$f_1$  = flecha debida al desplazamiento del nudo B respecto a su posición inicial. Se halla reanalizando la estructura en Hipótesis 1 pero con cargas sin mayorar (Hipótesis 3)

## Hipótesis 3

$$R_V = \frac{q_{k,z} + l_{\text{correa}}}{2} = \frac{2,13 \cdot 1,26}{2} = 1,34 \text{ kN} \downarrow$$

$$R_H = \frac{q_{k,y} + l_{\text{correa}}}{2} = \frac{0,33 \cdot 1,26}{2} = 0,21 \text{ kN} \rightarrow$$

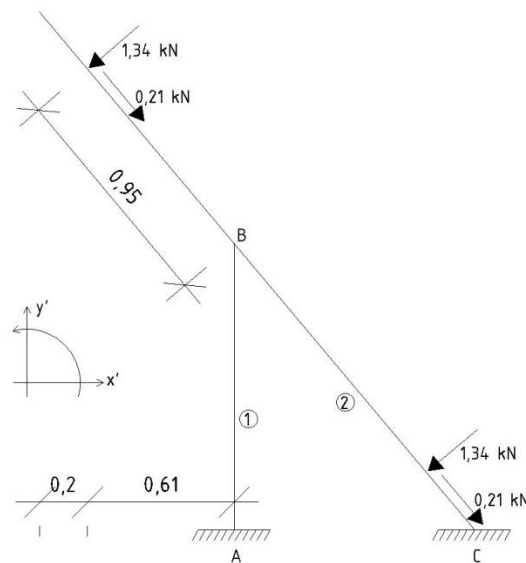


Ilustración 54. Cargas en estructura

Mismo procedimiento que con la Hipótesis 1

a) Traslado de cargas al nudo B

a.1) Momento debido a carga puntual en voladizo

$$M_B (\text{debido a carga } 1,34 \text{ kN}) = 1,34 \cdot 0,95 = 1,27 \text{ mkN} \curvearrowright$$

a.2) Fuerzas en ejes  $x'$  e  $y'$

$$F_{B,V} = 1,34 \cdot \cos 50 + 0,21 \cdot \sin 50 = 1,02 \text{ kN} \downarrow$$



$$F_{B,H} = 1,34 \cdot \sin 50 - 0,21 \cdot \cos 50 = 0,89 \text{ kN} \leftarrow$$

b) Paso de cargas aplicadas en la Barra 2 a los apoyos B y C

Se analiza la Barra 2 como si fuese una barra aislada biempotrada:

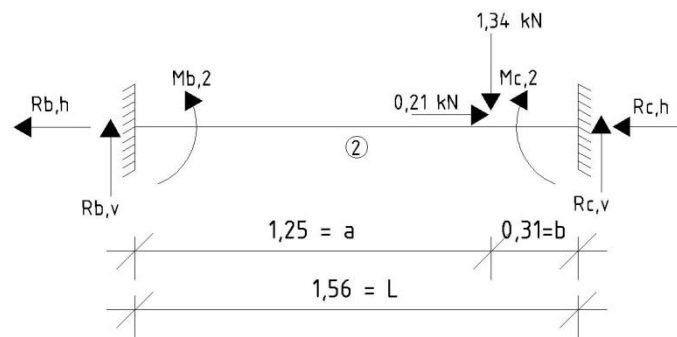


Ilustración 55. Cargas en barra 2

b.1) Reacciones verticales (ejes locales de barra)

$$R_{B,V} = \frac{P \cdot b^2}{L^3} \cdot (L + 2 \cdot a) = \frac{1,34 \cdot 0,31^2}{1,56^3} \cdot (1,56 + 2 \cdot 1,25) = 0,14 \text{ kN} \uparrow$$

$$R_{C,V} = \frac{P \cdot a^2}{L^3} \cdot (L + 2 \cdot b) = \frac{1,34 \cdot 1,25^2}{1,56^3} \cdot (1,56 + 2 \cdot 0,31) = 1,20 \text{ kN} \uparrow$$

b.2) Fuerzas horizontales (ejes locales de barra)

$$\Sigma F_H = 0; R_{B,H} + R_{C,H} - 0,21 = 0 \quad (1)$$

$$\Delta L_a = \Delta L_b; \Delta L = \epsilon \cdot L; \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{N}{E \cdot A}; \Delta L = \frac{N \cdot L}{E \cdot A}; \text{Si tomo } N = R_H \rightarrow \frac{R_{B,H} \cdot a}{E \cdot A} = \frac{R_{C,H} \cdot b}{E \cdot A}$$

$$\text{Como } A \text{ y } E \text{ son constantes} \rightarrow R_{B,H} \cdot a = R_{C,H} \cdot b \rightarrow R_{B,H} \cdot 1,25 = R_{C,H} \cdot 0,31 \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} (1) \\ (2) \end{bmatrix} \rightarrow R_{B,H} = 0,04 \text{ kN} \leftarrow ; R_{C,H} = 0,17 \text{ kN} \leftarrow$$

b.3) Momentos (ejes locales de barra)

$$M_{B,2} = \frac{P \cdot b \cdot a^2}{L^2} = \frac{1,34 \cdot 1,25 \cdot 0,31^2}{1,56^2} = 0,07 \text{ mkN} \curvearrowright$$

$$M_{C,2} = \frac{P \cdot a^2 \cdot b}{L^2} = \frac{1,34 \cdot 1,25^2 \cdot 0,31}{1,56^2} = 0,27 \text{ mkN} \curvearrowright$$

El momento total en el nudo B =  $1,27 - 0,07 = 1,20 \text{ mkN} \curvearrowright$

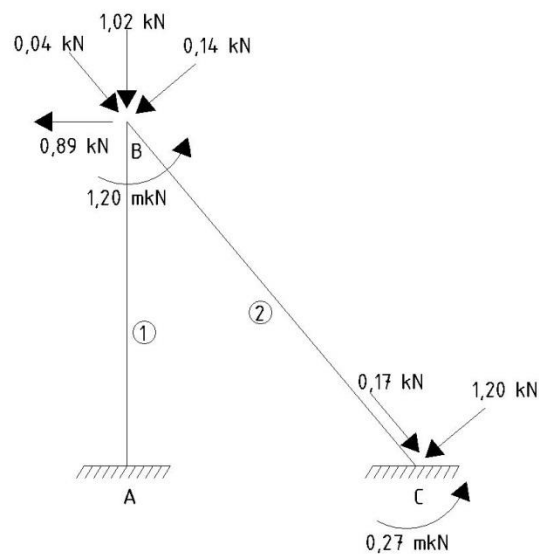


Ilustración 56. Estructura con cargas trasladadas a los nudos

Por último, se transforman todas las cargas en ejes globales  $x'$  e  $y'$

Nudo B

$$F_{y'B} = -1,02 - 0,14 \cdot \cos 50 - 0,04 \cdot \sin 50 = 1,14 \text{ kN} \downarrow$$

Instalación ACS paneles solares

$$F_x'B = -0,89 - 0,14 \cdot \sin 50 - 0,04 \cdot \cos 50 = 0,97 \text{ kN} \leftarrow$$

Nudo C

$$F_y'C = -1,20 \cdot \cos 50 - 0,17 \cdot \sin 50 = 0,90 \text{ kN} \downarrow$$

$$F_x'C = -1,20 \cdot \sin 50 + 0,17 \cdot \cos 50 = 0,81 \text{ kN} \leftarrow$$

El resultado final de trasladar las cargas a los nudos y ponerlas en ejes globales, para el Estado (0), es el siguiente:

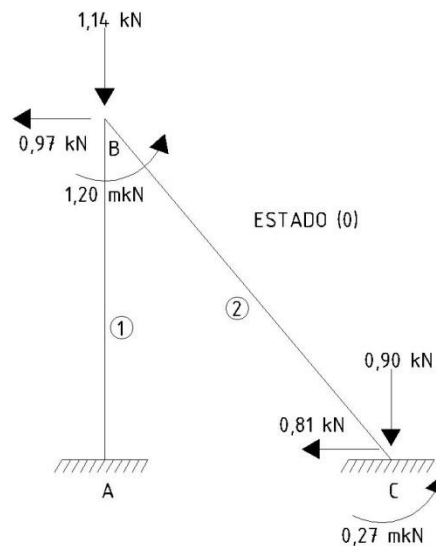


Ilustración 57. Estado (0)

Puesto que la estructura es la misma que en la Hipótesis 1, sirve su matriz de rigidez de estructura en ejes globales  $K'_{est}$ , las matrices de las barras y las de transformación.

### Desplazamientos y giros en el nudo B en ejes globales

$$P' = K'_{est} \cdot \delta' \rightarrow \delta' = K'_{est}{}^{-1} \cdot P' ; P' = \begin{bmatrix} F_V \\ F_H \\ M \end{bmatrix}$$

$$\delta' = \begin{bmatrix} 48617,5 & -56510,4 & 703,6 \\ -56066,4 & 218036,9 & 182,1 \\ 703,6 & 182,1 & 680,6 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -0,97 \\ -1,14 \\ 1,20 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} X' = -7,79 \cdot 10^{-5} m \\ Y' = -2,68 \cdot 10^{-5} m \\ \theta' = 1,85 \cdot 10^{-3} rad \end{matrix}$$

### Transformación de desplazamientos en ejes globales a ejes locales

$$\delta_{\textcircled{2}} = \begin{bmatrix} 0,643 & -0,766 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,766 & 0,643 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,643 & -0,766 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,766 & 0,643 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -7,79 \cdot 10^{-5} \\ -2,68 \cdot 10^{-5} \\ 1,85 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2,96 \cdot 10^{-5} \\ -7,69 \cdot 10^{-5} \\ 1,85 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Por lo tanto,  $f_1 = Y1_{\textcircled{2}} = 7,69 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,08 \text{ mm}$

a)  $f_2$  = flecha debida al giro que experimenta el nudo B al desplazarse:

$$f_2 = \theta_B \cdot l_{\text{voladizo}} = 1,85 \cdot 10^{-3} \cdot 950 = 1,76 \text{ mm}$$

b)  $f_3$  = flecha debida a la carga puntual perpendicular al eje del voladizo:

Según las fórmulas deducidas de la Resistencia de Materiales:

$$f_3 = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{1,34 \cdot 10^3 \cdot 950^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 53 \cdot 10^4} = 3,44 \text{ mm}$$



$$f_{\text{tot}} = 0,08 + 1,76 + 3,44 = 5,28 \text{ mm} < 5,50 \text{ mm} \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

**VÁLIDO PERFIL #70.50.4 EN VOLADIZO**

## 6.3 BASAS

### 6.3.1 Basa para apoyo A

Situación más desfavorable:  $N_d = 6,07 \text{ kN}$  ;  $M_{yd} = 0,48 \text{ mkN}$

Se supone la utilización de una placa de  $\neq 170 \times 150 \times 5 \text{ mm.}$ , procedente de tomar el perímetro del perfil y añadir 50 mm. a cada lado para dejar hueco a 4 tornillos.

La excentricidad con la que se aplica la carga es:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{0,48 \cdot 10^6}{6,07 \cdot 10^3} = 79 \text{ mm}$$

Se comprueba si se cumple la siguiente condición ( $a$  = largo de la placa):

$$e > 0,375 \cdot a = 0,375 \cdot 170 = 63,8 \text{ mm} < 79 \text{ mm} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

En ese caso, se admite que una parte de la presión que ejerce la placa sobre el soporte se reparte en una parte de la misma (nunca mayor a  $a/4$ ) y que es equilibrada por los anclajes de la parte contraria de la placa, según el siguiente esquema:

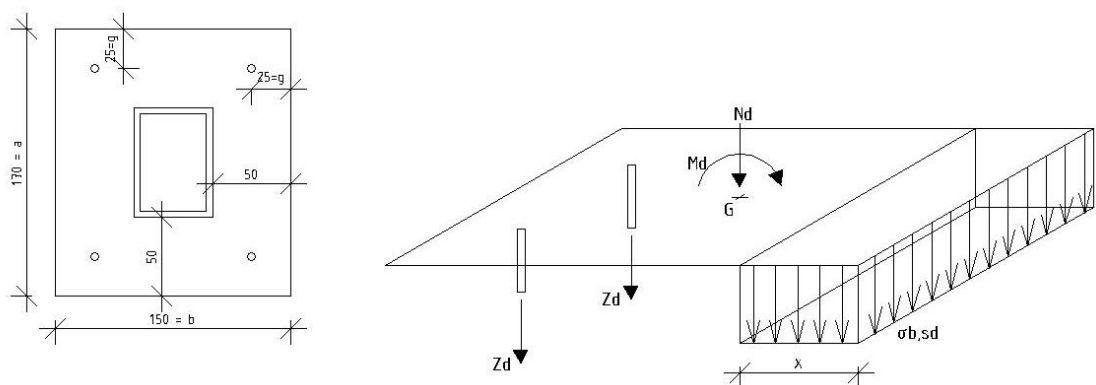


Ilustración 58. Esquema unión perfil y placa

Se puede suponer cualquier combinación de  $\sigma_{b,sd}$  y  $Z_d$  mientras esté en equilibrio. Se supone para este caso una distribución en el límite de aplicación:  $x = a/4 = 170/4 = 42,5$  mm. En ese caso, se obtendrá el máximo  $\sigma_{b,sd}$ .

Para hallar tanto  $\sigma_{b,sd}$  como  $Z_d$  se plantea el equilibrio de fuerzas y momentos respecto al centro de gravedad de la Baza "G". Por comodidad, se unifican ambos  $Z_d$  en una sola fuerza tal que  $Z_d^* = 2 \cdot Z_d$  ;

$$\Sigma F_v = 0 \rightarrow N_d + Z_d^* = x \cdot b \cdot \sigma_{b,sd} \rightarrow 6,07 \cdot 10^3 + Z_d^* = 42,5 \cdot 150 \cdot \sigma_{b,sd} \quad (1)$$

$$\Sigma M_{d,G} = 0 \rightarrow M_d = Z_d^* \cdot \left(\frac{a}{2} - g\right) + \sigma_{b,sd} \cdot b \cdot x \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{x}{2}\right)$$

$$0,48 \cdot 10^6 = Z_d^* \cdot \left(\frac{170}{2} - 25\right) + \sigma_{b,sd} \cdot 150 \cdot 42,5 \cdot \left(\frac{170}{2} - \frac{42,5}{2}\right) \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} (1) \\ (2) \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} Z_d^* = 0,75 \text{ kN} ; Z_d = \frac{Z_d^*}{2} = 0,38 \text{ kN} \\ \sigma_{b,sd} = 1,07 \text{ N/mm}^2 \end{matrix}$$

#### 6.3.1.1 Resistencia portante de la superficie de asiento.

$$f_{jd} \leq \sigma_{b,sd}$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck} \leq 3,3 \cdot f_{cd} \quad [40]$$

$$\beta_j = \frac{2}{3} ; k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} ; a = 170 \text{ mm} ; b = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 a + 2 \cdot a_r &= \infty \\
 a1 &\leq \begin{aligned} 5 \cdot a &= 5 \cdot 170 = 850 \text{ mm} \\ a + h &= 170 + 100 = 270 \text{ mm} \\ 5 \cdot b_1 &= 5 \cdot 250 = 1250 \text{ mm} \end{aligned} & b1 &\leq \\
 b + 2 \cdot b_r &= \infty \\
 \begin{aligned} 5 \cdot b &= 5 \cdot 150 = 750 \text{ mm} \\ b + h &= 150 + 100 = 250 \text{ mm} \\ 5 \cdot b_1 &= 5 \cdot 270 = 1350 \text{ mm} \end{aligned}
 \end{aligned}$$

$$a1 = 270 \text{ mm} ; b1 = 250 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{270 \cdot 250}{170 \cdot 150}} = 1,63$$

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2 ; f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot 1,63 \cdot 25 < 3,3 \cdot 16,67 = 27,17 \text{ N/mm}^2 > 1,07 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

### 6.3.1.2. Espesor de la placa.

Debido al estado de cargas que solicita la placa, el factor determinante será el momento generado por la tracción generada por el anclaje. Se procede a su determinación según el método propuesto por Ballio, Poggi y Zanon (1981):



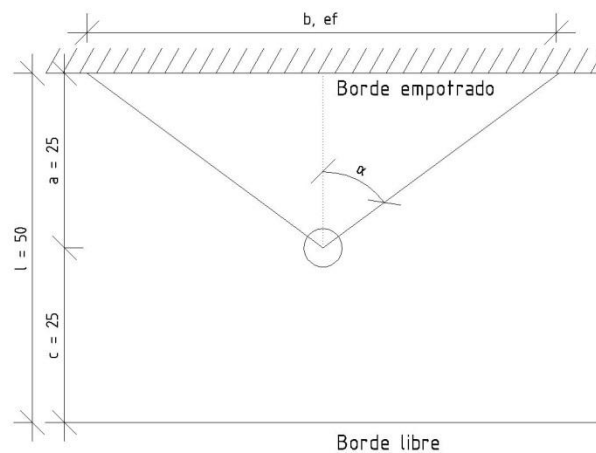


Ilustración 59. Ángulo unión y borde empotrado de la sección

El ángulo que forma la línea de transmisión de esfuerzos desde el anclaje al borde empotrado (unión de la basa con el perfil) se deduce de la expresión:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot (1 - \frac{a}{4 \cdot l})}{3} = \frac{\pi \cdot (1 - \frac{25}{4 \cdot 50})}{3} = 0,916 \text{ rad} = 52,48^\circ$$

El ancho sobre el borde empotrado en el que se aplica la fuerza de tracción del anclaje es:

$$b_{ef} = 2 \cdot a \cdot \tan \alpha = 2 \cdot 25 \cdot \tan 52,48 = 65,1 \text{ mm}$$

El momento debido a esa fuerza se deduce de:

$$M_{x,sd} = 6 \cdot \frac{Z_d \cdot a}{b_{ef}} = \frac{0,38 \cdot 10^3 \cdot 25}{65,1} = 145,9 \text{ Nmm/mm (Por ancho de banda de 1 mm.)}$$

La tensión en la basa debida al momento flector ha de ser menor a la capacidad de resistencia del acero de la basa:

$$6 \cdot \frac{M_{x,sd}}{1 \text{ mm} \cdot t_p^2} \leq f_{yd} \rightarrow t_p = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{x,sd}}{f_{yd} \cdot 1 \text{ mm}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 145,9}{\frac{275}{1,05} \cdot 1 \text{ mm}}} = 1,83 \text{ mm} < 5 \text{ mm} \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

**VÁLIDA BASA #170x150x5 mm EN BARRA 1**

### 6.3.2 Basa para apoyo B

Solicitaciones actuantes:

$$N_d = R_{v,c} = 3,19 \text{ kN} \downarrow$$

$$V_d = R_{h,c} = 3,87 \text{ kN} \rightarrow$$

$$M_d = M_c = 0,02 \text{ mkN} \curvearrowright$$

Puesto que las solicitaciones en la basa del apoyo “C” son menores a las del apoyo “A”, se considera que por simplicidad también debe de tener el mismo tipo de basa.

**VÁLIDA BASA #170x150x5 mm EN BARRA 2**

### 6.3.3 Anclajes mecánicos apoyo A

Se realiza el dimensionado del anclaje mecánico según ETAG 001 – Anexo C, usando el método simplificado CC (capacidad del hormigón). Se consideran que las

cargas aplicadas son estáticas o casi estáticas (viento), realizándose comprobaciones en Estado Límite Último tal que:

$$S_d \leq R_d$$

Los valores de resistencia de los anclajes son tomados del producto comercial “Spit Triga Z”. Se supone la utilización de 4 tornillos M6 con un vástago de 65 mm de longitud y una calidad del acero 8.8 (4 tornillos M6x65-8.8)

Comprobación a carga combinada tracción + cortante:

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,20 ; \beta_N = \frac{N_{sd}}{N_{Rd}} \leq 1,00 ; \beta_V = \frac{V_{sd}}{V_{Rd}} \leq 1,00$$

$$N_{Rd} \leq \frac{N_{Rd,p}}{N_{Rd,c}} ; V_{Rd} \leq \frac{V_{Rd,c}}{V_{Rd,s}}$$

Solicitaciones:

$N_{sd} \rightarrow$  Tracción compuesta en el anclaje por acción de fuerza axial de tracción ( $T_{sd} = 5,25 \text{ kN}$ ) y momento ( $M_{sd} = 0,41 \text{ m kN}$ ), en Hipótesis 2.

$$N_{sd} = \frac{T_{sd}}{n^{\circ} \text{ tornillos}} + Z_d$$

$$5,25 \cdot 10^3 + Z_d^* = 42,5 \cdot 150 \cdot \sigma_{b, sd} \quad (1)$$

$$0,41 \cdot 10^6 = Z_d^* \cdot \left(\frac{170}{2} - 25\right) + \sigma_{b, sd} \cdot 150 \cdot 42,5 \cdot \left(\frac{170}{2} - \frac{42,5}{2}\right) \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} (1) \\ (2) \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} Z_d^* = 0,61 \text{ kN} ; Z_d = \frac{Z_d^*}{2} = 0,31 \text{ kN} \\ \sigma_{b, sd} = 0,92 \text{ N/mm}^2 \end{matrix}$$

$$N_{sd} = \frac{5,25}{4} + 0,31 = 1,62 \text{ kN}$$

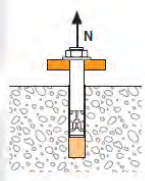
$$V_{sd} = \frac{V_{sd}}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{1,09}{4} = 0,27 \text{ kN}$$

Resistencias:

### 6.3.3.1. Resistencia a la rotura por extracción-deslizamiento. (FABRICANTE)

Considerando que el hormigón de base se encuentra fisurado.

$f_b = 1,1$  (Hormigón Clase C25/C30)



Resistencia a la rotura por extracción-deslizamiento

$$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 \cdot f_b$$

$N_{Rd,p}^0$ Resistencia en el ELU - rotura por extracción-deslizamiento						
Dimensiones	M6	M8	M10	M12	M16	M20
<b>Hormigón no fisurado</b>						
$h_{ef}$	50	60	70	80	100	125
$N_{Rd,p}^0$ (C20/25)	-	13,3	-	-	-	-
<b>Hormigón fisurado</b>						
$h_{ef}$	50	60	70	80	100	125
$N_{Rd,p}^0$ (C20/25)	3,3	8	10,6	-	-	-

$\gamma_{Mc} = 1,5$

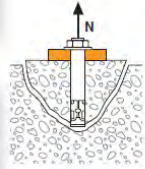
Ilustración 60. Resistencia a rotura por deslizamiento [41]

$$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 \cdot f_b = 3,3 \cdot 1,1 = 3,63 \text{ kN}$$

### 6.3.3.2. Resistencia a la rotura del cono de hormigón.

Considerando que el anclaje no se encuentra en la proximidad de ningún borde

$$\rightarrow \psi_s = \psi_{c,n} = 1$$



→ Resistencia a la rotura del cono de hormigón

$$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_b \cdot \psi_s \cdot \psi_{c,N}$$

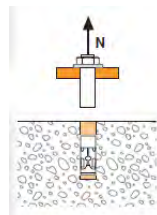
$N_{Rd,c}^0$	Resistencia en el ELU - rotura del cono de hormigón					
Dimensiones	M6	M8	M10	M12	M16	M20
<b>Hormigón no fisurado</b>						
$h_{ef}$	50	60	70	80	100	125
$N_{Rd,c}^0$ (C20/25)	11,9	15,6	19,7	24,0	33,6	47,0
<b>Hormigón fisurado</b>						
$h_{ef}$	50	60	70	80	100	125
$N_{Rd,c}^0$ (C20/25)	8,5	11,2	14,1	17,2	24,0	33,5

$\gamma_{Mc} = 1,5$

Ilustración 61. Resistencia a rotura del cono de hormigón [42]

$$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_b \cdot \psi_s \cdot \psi_{c,n} = 8,5 \cdot 1,1 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 9,35 \text{ kN}$$

### 6.3.3.3. Resistencia a rotura del acero (por tracción)



Resistencia a la rotura del acero

$N_{Rd,s}$ Dimensiones	Resistencia en el ELU - rotura del acero					
	M6	M8	M10	M12	M16	M20
$N_{Rd,s}$	10,7	19,5	30,9	44,9	83,7	130,7

$\gamma_{Ms} = 1,5$

Ilustración 62. Resistencia a rotura del acero [43]

$$N_{Rd,s} = 10,7 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \leq \frac{3,63 \text{ kN}}{10,7 \text{ kN}} \rightarrow N_{Rd} = 3,63 \text{ kN} \rightarrow \beta_N = \frac{1,62}{3,63} = 0,45 < 1,00$$

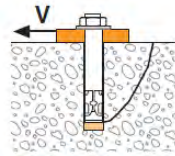
### 6.3.3.4. Resistencia a la rotura del hormigón en el borde de la losa/soporte.

No aplicable en este caso, ya que los bordes del soporte están relativamente lejos como para poderse dar este tipo de fallo.

### 6.3.3.5. Resistencia a la rotura por efecto palanca

Se considera que el anclaje no se encuentra en la proximidad de ningún borde

$$\rightarrow \psi_s = \psi_{c,n} = 1$$



#### Resistencia a la rotura por efecto palanca

$$V_{Rd,cp} = V_{Rd,cp}^0 \cdot f_b \cdot \psi_s \cdot \psi_{c,N}$$

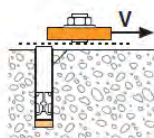
$V_{Rd,cp}^0$ Resistencia en el ELU - rotura por efecto de palanca	M6	M8	M10	M12	M16	M20
<b>Dimensiones</b>						
<b>Hormigón no fisurado</b>						
$h_{ef}$	50	60	70	80	100	125
$V_{Rd,cp}^0$ (C20/25)	11,9	31,2	39,4	48,1	67,2	93,9
<b>Hormigón fisurado</b>						
$h_{ef}$	50	60	70	80	100	125
$V_{Rd,cp}^0$ (C20/25)	8,5	22,3	28,1	34,3	48,0	67,1
$\gamma_{Mcp} = 1,5$						

Ilustración 63. Resistencia a rotura por efecto palanca [44]

$$V_{Rd,cp} = V_{Rd,cp}^0 \cdot f_b \cdot \psi_s \cdot \psi_{c,n} = 8,5 \cdot 1,1 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 9,35 \text{ kN}$$

### 6.3.3.6. Resistencia a la rotura del acero (por cizallamiento)

Se considera Tipo E



#### Resistencia a la rotura del acero

$V_{Rd,s}$ Resistencia en el ELU - rotura del acero	M6	M8	M10	M12	M16	M20
<b>Dimensiones</b>						
<b>Hormigón fisurado y no fisurado</b>						
<b>Tipo V/TF</b> $V_{Rd,s}$	18,7	26,1	39,3	58,2	93,8	138,8
<b>Tipo E</b> $V_{Rd,s}$	11,4	15,2	24,8	37,9	74,5	87,9
$\gamma_{Ms} = 1,25$						

Ilustración 64. Resistencia a rotura por cizallamiento [45]

$$V_{Rd,s} = 11,4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} \leq \frac{9,35 \text{ kN}}{11,4 \text{ kN}} \rightarrow N_{Rd} = 9,35 \text{ kN} \rightarrow \beta_N = \frac{0,27}{9,35} = 0,03 < 1,00$$

$$\beta_N + \beta_V = 0,45 + 0,03 = 0,48 < 1,2 \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

**VÁLIDO ANCLAJE 4 TORNILLOS M6x65-8.8 APOYO A**

### 6.3.4 Anclajes mecánicos apoyo B

Solicitaciones (hipótesis 1):

$$N_{sd} = \frac{R_v}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{3,06}{4} = 0,77 \text{ kN} ; V_{sd} = \frac{R_h}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{3,93}{4} = 0,98 \text{ kN}$$

Visto el orden de magnitud de las solicitaciones, es claro que también cumplirá

**VÁLIDO ANCLAJE 4 TORNILLOS M6x65-8.8 APOYO B**



## 6.4 UNIONES-SOLDADURAS

### 6.4.1) Unión Barra 1 - Basa

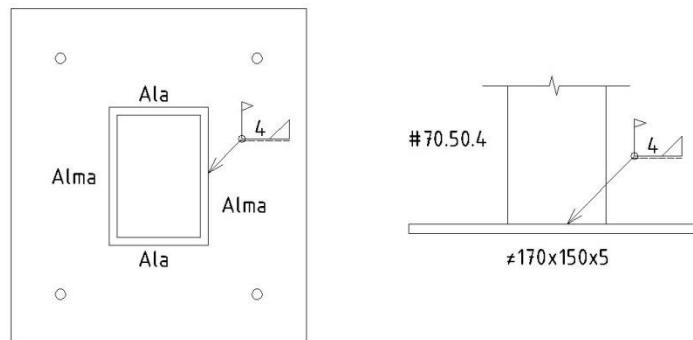


Ilustración 65. Soldadura perfil de la sección y la placa

Se unirá la Barra 1 a la Basa por medio de una soldadura en ángulo de 4 mm de garganta en todo el perímetro del perfil. Según la hipótesis 2, las solicitaciones a las que está sometida la unión son:

$$N_{sd} = 5,25 \text{ kN} ; M_{sd} = 0,41 \text{ m kN} ; V_{sd} = 1,09 \text{ kN}$$

Conceptualmente, se considera que el axil lo asume todo el perfil, el flector lo asumen las alas y el cortante lo asumen las almas.

a) Soldadura en las alas:

$$F = \frac{M_{sd}}{h - t_f} + \frac{N_{sd} \cdot A_f}{A_{tot}} = \frac{0,41 \cdot 10^6}{70 - 4} + \frac{5,25 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 4}{841} = 7,46 \text{ kN}$$

La longitud del cordón de las alas es:  $l_{alas} = 50 \text{ mm}$

$$F_{w,sd} \leq F_{w,Rd} ; F_{w,sd} = \frac{F}{l_{alas}} = \frac{7,46 \cdot 10^3}{50} = 149,2 \text{ N/mm}$$

$$F_{w,Rd} = a \cdot \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 4 \cdot \frac{\frac{430}{\sqrt{3}}}{0,85 \cdot 1,25} = 934,6 \text{ N/mm} > 149,2 \text{ N/mm} \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

b) Soldadura en las alas

Esta fuerza tiene 2 componentes en 2 direcciones distintas, por lo que habrá que hacer una suma vectorial de ambas:

$$F = \sqrt{\left(\frac{V_{sd}}{n_{o\text{ alas}}}\right)^2 + \left(\frac{N_{sd} \cdot A_w}{A_{tot}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,09 \cdot 10^3}{2}\right)^2 + \left(\frac{5,25 \cdot 10^3 \cdot 62 \cdot 4}{841}\right)^2} = 1,64 \text{ kN}$$

La longitud del cordón de las alas es:  $l_{alas} = 62 \text{ mm}$

$$F_{w,sd} = \frac{F}{l_{alas}} = \frac{1,64 \cdot 10^3}{62} = 26,5 \text{ N/mm} < 934,6 \text{ N/mm} \rightarrow \text{VÁLIDO}$$

**VÁLIDA SOLDADURA EN ÁNGULO 4 mm GARGANTA CONTORNO PERFIL APOYO A**

#### 6.4.2) Unión Barra 2 – Basa

Visto el orden de magnitud de las solicitaciones, puede afirmarse que también cumplirá para este apoyo.

**VÁLIDA SOLDADURA EN ÁNGULO 4 mm GARGANTA CONTORNO PERFIL APOYO B**

**ESTRUCTURA VÁLIDA**

# 7. ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

## 7. Análisis de los componentes del sistema

### 7.1 Captador solar

Es la parte de la instalación encargada de captar la energía proveniente del sol y transmitirla al fluido caloportador. Es el componente más importante de una instalación de energía solar térmica y es el elemento diferenciador con respecto a una instalación convencional de producción de calor. Del correcto dimensionado del sistema de captación va a depender el rendimiento general de la instalación y el buen funcionamiento de la misma. Cuando la radiación solar incide sobre el captador éste se calienta, transmitiendo esta energía absorbida a el fluido caloportador del circuito primario (etilenglicol); éste a su vez transmitirá esa energía en el intercambiador de calor al agua que recorre el circuito secundario. Por lo tanto, se puede deducir que un buen captador solar será aquel que optimice la obtención de energía por incidencia de radiación solar a la vez que tenga una buena eficiencia de transmisión de dicha energía recogida al fluido caloportador.

Además de la optimización energética, el captador debe garantizar una operación prolongada, sin degradación excesiva. Debe tenerse en cuenta que trabaja a la intemperie, en condiciones de temperatura muy variable, entre el exterior y su interior, y todos los días del año.

Asimismo, debe cuidarse la integración de los captadores solares en los edificios, tanto desde un punto de vista constructivo como estético. Si bien en los inicios no existía prácticamente integración entre equipos y cubierta del edificio, cada vez es mayor el número de desarrollos que incorporan la instalación térmica en el proyecto arquitectónico. Los propios diseños de captadores también se están adaptando a las nuevas necesidades.

Existen diferentes tipos de captadores solares, con rendimientos y costes diferentes por lo que hay que buscar el tipo más apropiado para cada aplicación. De forma general se distinguen tres tipos de captadores solares: planos, sin cubierta y de vacío. A continuación se detallan las características de cada uno de ellos y sus distintas aplicaciones. El tipo más utilizado, tanto para la producción de ACS como para usos industriales, es el colector solar plano, del cual existen muchas variantes.



Ilustración 66. Captador solar plano [46]

## 7.1.1 Constitución y funcionamiento

### 7.1.1.1 Captador solar plano

En un captador solar térmico se producen los tres tipos de transmisión de calor: convección, conducción y radiación.

A continuación se detallan los diferentes componentes de un captador solar plano que corresponde a la familia de los captadores solares que se utilizarán en la presente instalación, antes de entrar en detalle a comentar el funcionamiento del captador:

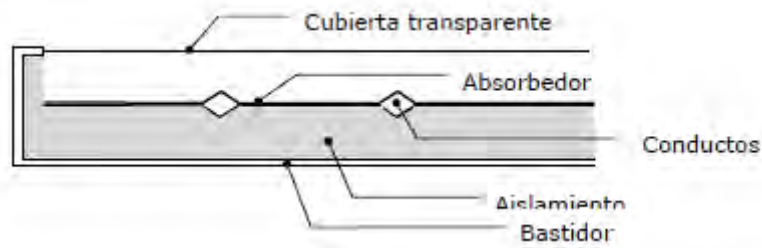


Ilustración 67. Partes del captador solar plano

#### 7.1.1.1 Absorbedor

El absorbedor es el elemento donde la radiación solar pasa a almacenarse como energía en forma de calor. A su vez, el calor pasará al fluido caloportador que circula por los conductos que forman parte del absorbedor.

El absorbedor está formado por finas láminas, al igual que los espesores de los tubos que reciben el calor cuyos diámetros son inferiores al cm.

Antiguamente el material utilizado para este elemento era el acero pero debido a los problemas de corrosión encontrados al igual que su pobre conductividad térmica actualmente su uso es escaso. Es por ello que el uso del acero inoxidable ha tenido mayor aplicación sobre todo en los tubos conductores, sin embargo, para las láminas del absorbedor es común utilizar cobre o aluminio, con los tubos en cobre también, para disminuir el peso del conjunto y mejorar la transmisión de calor. El intervalo del valor de la conductividad térmica del cobre es en torno a 8 veces superior al del acero (en  $W.m^{-1}.K^{-1}$ ). El del aluminio es un valor intermedio entre estos otros dos compuestos. En cuanto al peso el aluminio es el material que presenta menor densidad frente a los otros dos que tienen valores más cercanos.

Además del material, se debe tener en cuenta el propio diseño del absorbedor que definirá su eficiencia en la transferencia de calor de la radiación solar al fluido caloportador. Actualmente las configuraciones más utilizadas son las siguientes:

- Dos láminas conformadas para permitir el paso del fluido y soldadas entre sí.
- Una parrilla de tubos unidos a una chapa continua o a un conjunto de aletas
- Chapa unida a un serpentín

Las láminas serán de poco espesor para disminuir la inercia térmica, es decir, los tiempos de calentamiento y la cesión de la energía al fluido. A su vez, por la misma razón la distancia entre tubos es relativamente pequeña y los tubos estarán repartidos de forma uniforme para evitar zonas sin aprovechamiento. Los tubos tendrán diámetros pequeños y por ellos circulará poco caudal para aumentar la velocidad de calentamiento del fluido que pasa a través de ellos.

El absorbedor además de estar formado por las láminas y tubos descritos llevan un recubrimiento que incrementa la absorción de energía en la cara expuesta al sol, ya que el material metálico por el que están formado las placas refleja una gran cantidad de la radiación que llega del sol. Una opción es pintar de negro toda la superficie del absorbedor; esta pintura ofrece una absorbanza elevada pero a su vez tienen una alta emisividad. Es por ello que en ocasiones se utiliza la aplicación de tratamientos superficiales selectivos, que pese a ser una alternativa costosa, reduce de manera significativa la emisividad conservando una alta absorbanza.

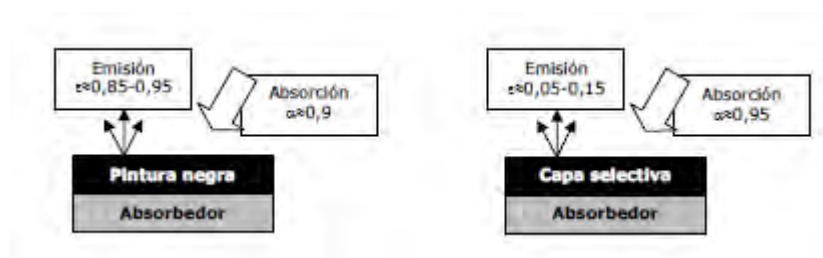


Ilustración 68. Efecto invernadero en el captador

#### 7.1.1.1.2. Cubierta transparente

A continuación se detallan las principales funciones de la cubierta transparente de un captador solar:

- Protegen al absorbedor de los agentes externos
- Permiten el paso de la radiación solar incidente, en forma de onda corta, e impiden la salida de la radiación de longitudes de onda larga (las emitidas por el absorbedor)
- Contribuyen al aislamiento térmico del equipo

La segunda función se puede dar gracias al llamado efecto invernadero que aumentará la eficiencia térmica del equipo. La cubierta será transparente a longitudes de onda bajas (que son las que recibe del sol) y opaca a longitudes de onda altas (como la que emite el absorbedor al calentarse), provocando un efecto rebote en éstas últimas.

Para lograr esta función antiguamente se utilizaban vidrios de ventana o plásticos en doble capa. Esto reducía las pérdidas pero también la entrada de la radiación solar. Hoy en día se utilizan vidrios recocidos o templados los cuales cumplen con estas dos funciones a la perfección.

#### 7.1.1.1.3. Bastidor

Es la caja contenedora del absorbedor y aislante. Proporciona la protección suficiente ante la humedad y la temperatura. Actualmente para su producción se utilizan aluminios o aleaciones de aluminio por sus características ligeras y ante la corrosión.



En aplicaciones de integración completa la forma y materiales pueden ser de otro tipo para cumplir con su función en la cubierta.

#### 7.1.1.1.4. Aislante térmico y juntas

Para reducir las pérdidas térmicas por conducción en el captador solar se dispone un aislante térmico en la parte posterior y laterales del equipo. Lógicamente, se emplean materiales de baja conductividad térmica que, además, deben tener un buen comportamiento ante temperaturas elevadas (hasta 100°C). También deben tener un peso específico reducido ya que los captadores irán normalmente situados sobre cubierta en las edificaciones.

Asimismo, deben ser resistentes a la humedad y al fuego, sin emisión de gases tóxicos. Los materiales más utilizados son lana de vidrio, fibra de vidrio y lana mineral, además de resinas de melanina para el aislante lateral.

También se utilizan espumas de poliuretano, si bien por su baja resistencia térmica, se recomienda disponer una capa de otro aislante entre la espuma y el absorbedor, para evitar su deterioro.

Tan importantes como el aislamiento son las juntas que se sitúan en las uniones del bastidor, en la cubierta transparente y en las conexiones de las tuberías. Además de evitar la fuga de calor, deben impedir la entrada de agua durante la vida útil del equipo. Estas juntas están sometidas a temperaturas elevadas, sobre todo las situadas en las tuberías de salida del captador. En estancamiento se pueden alcanzar hasta 180°C. Asimismo, debido a la dilatación térmica, las juntas soportan cargas mecánicas importantes.

Entre los materiales empleados en su fabricación destaca el etilenpropilendien-monómero (EPDM), que se encuentra en un gran número de equipos del mercado actual.

#### *7.1.1.2. Captadores solares sin cubierta*

La característica principal de estos sistemas es que su único componente es el absorbedor, lo que repercute en su bajo precio y facilidad de montaje respecto a otros captadores. Como consecuencia de no estar aislado el absorbedor, estos sistemas presentan un rendimiento global inferior a los captadores solares planos, por lo que necesitan de una mayor superficie disponible.

Estos sistemas proporcionan saltos térmicos pequeños por lo que su uso más extendido es el calentamiento de piscinas al aire libre.

Están fabricados normalmente en polipropileno, siendo más moldeables a la hora de adaptarlos a las cubiertas.

#### *7.1.1.3 Captadores solares de tubos de vacío*

Estos sistemas están formados por una serie de tubos de vidrio en los que cada uno de ellos dispone de un elemento absorbedor en su interior. Entre el tubo y el absorbedor se ha realizado el vacío de aire. Este vacío provoca que las pérdidas por convección se puedan considerar nulas cuando la presión en el interior de los captadores es inferior a  $10^{-2}$  bar.

En cambio, las pérdidas por radiación no disminuyen ya que éstas no dependen de un medio físico para su propagación. Los tubos de vacío se conectan entre sí normalmente en paralelo.

Los captadores de vacío presentan un coeficiente óptico normalmente comprendido entre 0,6 y 0,8 y un coeficiente de pérdidas generalmente inferior a 1,5 W/m<sup>2</sup>.K. Este coeficiente de pérdidas es inferior al de los captadores planos, por lo que estos captadores presentan rendimientos superiores a los de los captadores planos para temperaturas de trabajo elevadas. Es por ello que son los más utilizados cuando se necesitan importantes saltos térmicos, caso de la calefacción, aplicaciones industriales y para la generación de frío por absorción.

Otra ventaja respecto a los captadores solares planos es que pueden ser instalados en posición horizontal sobre una cubierta plana, debido a que pueden orientarse las láminas que constituyen el elemento absorbedor, lo que conlleva menor espacio y menores elementos de anclaje. Su principal desventaja radica en su mayor coste económico con relación a los captadores solares planos.



Ilustración 69. Captador de tubos de vacío [47]

## 7.1.2 Parámetros característicos

### 7.1.2.1 Área del captador

Cuando se habla del área del captador se debe diferenciar tres referencias diferentes:

- Área bruta del captador: es el área entre los límites externos del captador, incluyendo al bastidor.
- Área del absorbedor: como su nombre indica es la superficie que ocupa el absorbedor de el captador solar.
- Área de apertura: es el área que ofrece el captador a la radiación solar.

### 7.1.2.2 Temperatura de estancamiento del captador

La temperatura de estancamiento corresponde a la máxima temperatura del fluido que se obtiene cuando, al someter el captador a altos niveles de radiación y siendo la velocidad del viento despreciable, no existe circulación en el captador y se alcanzan condiciones cuasiestacionarias. Esta temperatura puede llegar a alcanzar valores de 250 °C.

El fabricante del captador garantiza su producto hasta dichas temperaturas, pero el problema puede ser que otros elementos de la instalación no lo soporten tales como racores, juntas, purgadores, etc.

Si se llegará a producir las condiciones de estancamiento se debe haber diseñado la instalación para que el sistema no sufra daños. Para ello se reducirá la temperatura del sistema mediante el uso de un aerotermo o del uso de aletas.

### 7.1.2.3 Balance de energía en el captador solar térmico

Cuando incide la radiación solar sobre un objeto, se produce un incremento de la temperatura de este, hasta que se alcanza un equilibrio entre la energía incidente y las pérdidas de conducción, convección y radiación, asociadas a dicha temperatura.

Si se aprovecha parte de esta energía para el calentamiento del fluido de trabajo, se alcanza un nuevo punto de equilibrio, un régimen estacionario en el que se cumple la siguiente relación:

$$E_{\text{útil}} = E_{\text{incidente}} + E_{\text{pérdidas}}$$

Se definirá como coeficiente global de pérdidas del captador,  $U_L$ , a partir del cual se obtiene la potencia calorífica perdida como:

$$q_{\text{perdidas}} = A \cdot U_L \cdot (T_m - T_{\text{amb}})$$

Dónde A es el área de apertura del captador (área de apertura),  $T_m$  es la temperatura media del fluido a su paso por el absorbedor y  $T_{\text{amb}}$  la temperatura ambiente. Se observa que cuanto mayor sea la temperatura ambiente menor serán las pérdidas producidas en el captador solar.

Se debe aclarar que en el coeficiente  $U_L$  no se incluyen las pérdidas por reflexión en la cubierta transparente ni en el propio absorbedor, si no solo las pérdidas dependientes de la temperatura.

La potencia incidente sobre la cubierta exterior del captador es la propia irradiancia solar G.

La potencia absorbida,  $q_{\text{abs}}$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$q_{abs} = A \cdot G \cdot \tau \cdot \alpha$$

Dónde  $\tau$  es la transmitancia de la cubierta que indica la proporción de energía que la atraviesa (que no ha sido reflejada) y  $\alpha$  la absorbancia que indica la proporción de energía absorbida.

Por lo tanto la potencia calorífica útil será:

$$q_{\text{útil}} = A \cdot [G \cdot \tau \cdot \alpha - U_L \cdot (T_m - T_{amb})]$$

La temperatura media del captador se estima habitualmente como la media entre las temperaturas de entrada y de salida del fluido de trabajo. Una alternativa es utilizar como referencia la temperatura de entrada que es un valor más fácil de medir. Para evitar los efectos de esta simplificación se define el llamado factor de evacuación de calor,  $F_R$ , que es el cociente entre el calor absorbido realmente por el fluido y el que absorbería al considerar todo el captador a la temperatura de entrada, más baja, y por tanto, el máximo posible.

La potencia calorífica útil que llega al fluido quedará formulada como:

$$q_{\text{útil}} = A \cdot F_R \cdot [G \cdot \tau \cdot \alpha - U_L \cdot (T_e - T_{amb})]$$

#### 7.1.2.4 Rendimiento del captador solar térmico

Para conocer el comportamiento de un captador solar principalmente se evalúan sus curvas de rendimiento.

El rendimiento,  $\eta$ , se define como la relación entre la potencia útil que transfiere el captador al fluido de trabajo que fluye por su interior por la unidad de superficie del captador y la irradiancia solar incidente.

Del balance energético del apartado anterior se obtienen dos expresiones. Una en función de la temperatura de referencia considerada y la temperatura media del fluido y la otra en función de la temperatura de entrada al captador:

$$\eta = \frac{q_{\text{útil}}}{A \cdot G} = \tau \cdot \alpha - U_L \cdot \frac{T_m - T_{\text{amb}}}{G}$$

$$\eta = \frac{q_{\text{útil}}}{A \cdot G} = \left[ F_R \tau \cdot \alpha - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_e - T_{\text{amb}})}{G} \right]$$

No es posible la comparación directa entre distintos captadores cuyo rendimiento sea obtenido en diferentes condiciones; es por ello que existe bastante discrepancia en la manera de expresarlo en la actualidad.

A partir del año 2002 entró en vigor la norma EN-12975, actualmente vigente, por la cual para la evaluación del rendimiento de un captador se aconseja utilizar la temperatura media del fluido del captador. Para el área considerada en el cálculo es obvio que se debe tener en cuenta siempre el área de apertura o del absorbedor y no la total con el bastidor incluido.

En su aproximación cuadrática la curva característica del rendimiento de un captador se define como:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_m - T_{amb})}{G} - a_2 \cdot \frac{(T_m - T_{amb})^2}{G}$$

Donde  $\eta_0$  se define como el rendimiento óptico del captador, o lo que es lo mismo, el rendimiento cuando la diferencia de temperaturas es nula.

Lo términos  $a_1$  y  $a_2$  son los coeficientes lineales de pérdidas térmicas y cuadráticos respectivamente. Cuanto mayor son ambos coeficientes, menor será el rendimiento, sobre todo a temperaturas elevadas.

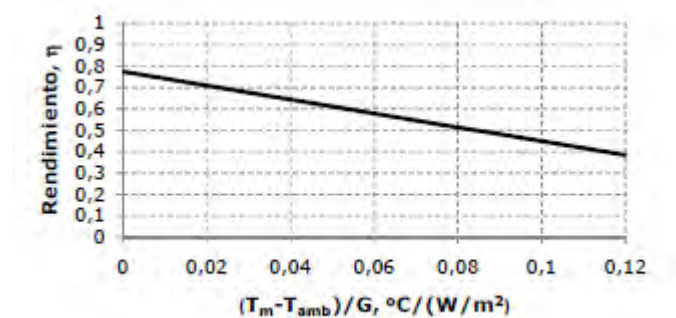


Ilustración 70. Curva característica cuadrática del rendimiento de un captador [48]

Se observa como la curva es lineal, es decir, el término cuadrático tiene menor influencia.

Para un análisis detallado resulta más útil la representación del rendimiento en función sólo de la diferencia de temperaturas, es decir, únicamente  $(T_m - T_{amb})$ , dejando la irradiancia  $G$  como parámetro independiente.

En función de la zona de la ubicación de los paneles obtenemos una curva distinta:



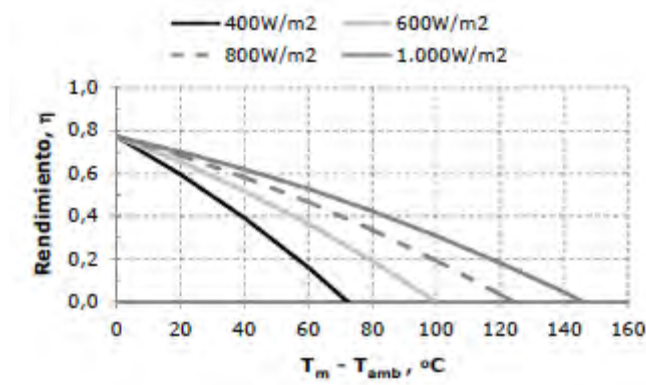


Ilustración 71. Curva característica, irradiancia como parámetro. [49]

De estas curvas se pueden deducir que el rendimiento disminuye al aumentar la diferencia de temperaturas entre el captador y el ambiente, lo que es debido a las pérdidas de convección hacia el aire que rodea el captador. Cuanto menor irradiancia se tenga el rendimiento del captador se verá disminuido.

A veces se combinan los coeficientes lineal y cuadrático para utilizar el denominado coeficiente global de pérdidas térmicas,  $a_{global}$ .

$$a_{global} = a_1 + a_2(T_m - T_{amb})$$

Esta forma de expresión se establece es la establecida en la norma ISO 9806-1.

El CTE establece un límite para el valor del coeficiente global de  $10 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .

### 7.3 Intercambiador de calor

El intercambiador de calor es el equipo en el que el calor se transmite del circuito primario al circuito secundario. Las principales ventajas de su uso son:

- La posibilidad de utilizar como fluido de trabajo un anticongelante.
- La reducción de incrustaciones calcáreas en la instalación.
- La reducción del riesgo de corrosión ya que no hay renovación constante de agua en el circuito primario.

Un intercambiador de calor debería cumplir con las siguientes exigencias:

- 1) Buenas propiedades de conductividad y transmisión de calor.
- 2) Pequeña diferencia de temperaturas entre las paredes del intercambiador.
- 3) Pérdidas de carga reducidas, se intentará optimizarlo para luego utilizar sistemas de bombeo menores.
- 4) Resistente tanto interiormente como exteriormente a los fluidos de trabajo que se utilicen.
- 5) Resistente a las condiciones de presión y temperatura de trabajo.

Se debe intentar lo máximo posible la utilización de materiales heterogéneos. Los materiales más utilizados son el acero inoxidable y el cobre.

Dentro de los intercambiadores de calor están los intercambiadores incorporados al acumulador (los serpentines) e intercambiadores externos.

### **7.3.1 Intercambiador de calor interno**

El intercambiador se encuentra en el interior del acumulador normalmente en forma de serpentín. Es recomendable que el serpentín se coloque en el inferior del depósito debido que es dónde estarán las capas de fluido frío y con aletas para favorecer el intercambio de calor.

El otro tipo de intercambiador interno es el denominado de doble pared o envolvente.

Debido a su poca pérdida de carga, este tipo de sistema es recomendable en instalaciones pequeñas por termosifón, ya que sus pérdidas de carga son menores respecto a los intercambiadores externos.

### **7.3.2 Intercambiador de calor externo**

No se pueden aplicar en sistemas por termosifón, únicamente se utilizan en sistemas forzados como el del presente proyecto.

En este método de intercambio los dos fluidos que interactúan están en movimiento. La circulación de los fluidos frío y caliente puede tener lugar en el mismo sentido o sentido contrario, siendo más efectivo el segundo modelo denominado a contracorriente.

Estos intercambiadores tienen un mayor rendimiento de intercambio que los intercambiadores de calor internos integrados en el acumulador.

Se pueden encontrar dos tipos de intercambiadores externos:

### Intercambiador de calor tubular

El intercambiador de calor de coraza y tubos está formado por una coraza y por multitud de tubos. Se clasifican por el número de veces que pasa el fluido por la coraza y por el número de veces que pasa el fluido por los tubos.

En los intercambiadores de calor de paso múltiple se utiliza un número par de pasos en el lado del tubo y un paso o más por el lado de la coraza.

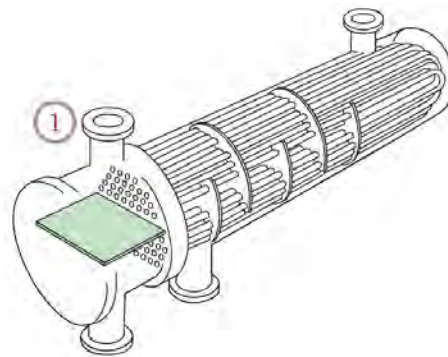


Ilustración 72. Intercambiador de calor tubular

Así por ejemplo el intercambiador representado en la ilustración 72 es 1-2, es decir, el fluido circula una vez por la coraza y el que se encuentra en el interior de los tubos pasa dos veces. El líquido frío entra por la parte inferior, por dentro de los tubos, y sale por la parte superior. Los tubos que van por dentro de la coraza son colocados mediante una placa deflektor perforada, representada a continuación:

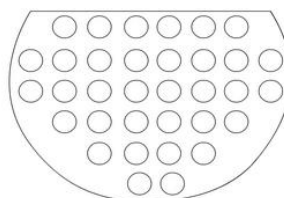


Ilustración 73. Placa deflektor

Estas placas deflectoras están puestas para generar un flujo cruzado e inducir una mezcla turbulenta en el fluido que va por la coraza, lo que mejora el intercambio por convección.

Los tubos pueden presentar diferentes distribuciones tales como el ajuste cuadrado, el ajuste cuadrado girado y el ajuste triangular. Con el ajuste triangular se obtiene una mejor superficie de transferencia de calor pero se dificulta la limpieza de los tubos.

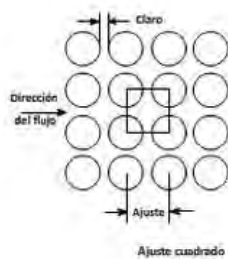


Ilustración 74. Ajuste cuadrado

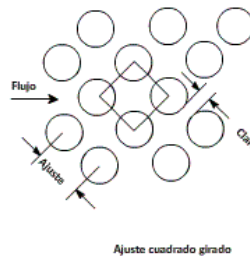


Ilustración 75. Ajuste cuadrado girado

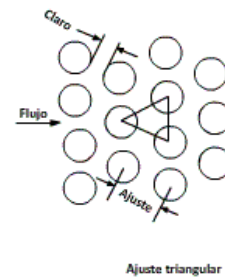


Ilustración 76. Ajuste triangular

### Intercambiador de calor de placas

Un intercambiador de calor de placas consiste en una sucesión de láminas de metal armadas en un bastidor y conectadas de modo que entre la primera y la segunda placa circule un fluido, entre la segunda y la tercera otro, y así sucesivamente. Estas placas están separadas por juntas, fijadas en una coraza de acero.

La circulación de estos fluidos puede tener diferentes configuraciones, en paralelo y contracorriente.

Hay diferentes tipos de placas que se pueden encontrar en un intercambiador de calor de placas. Cada placa tiene canalizaciones diferentes de fluido que inducen a turbulencia.

Si el fluido frío circula por la parte de delante de la placa, el fluido caliente lo hace por la parte de detrás.

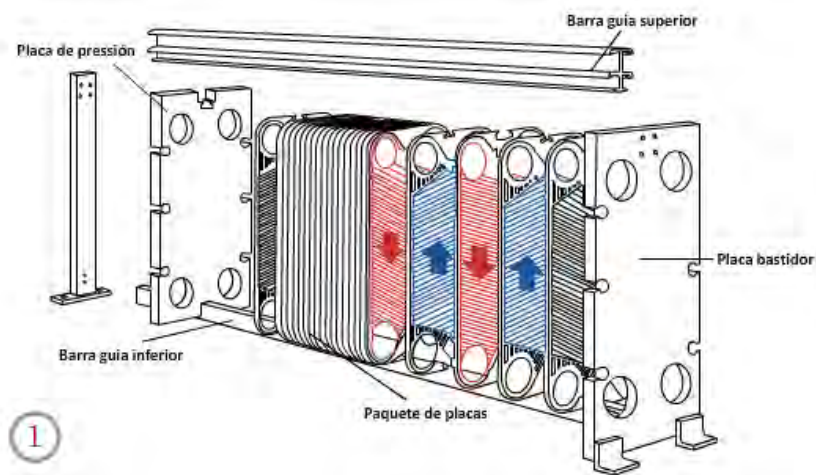


Ilustración 77. Intercambiador de calor de placas

La presente instalación contará con un primer intercambiador de calor externo encargado de realizar el primer proceso de transferencia entre el fluido caliente del circuito primario y el secundario del acumulador de inercia.

En este caso el intercambiador es un elemento independiente, para ello el CTE DB HE4 estima que la potencia térmica deberá ser al menos de un valor de 500 veces la superficie total obtenida para los captadores:

$$P_{\text{intercambio}} (W) \geq 500 \cdot S_{\text{captación}} (m^2)$$

$$P_{\text{intercambio}} (W) \geq 500 \cdot 103,2$$

$$P_{\text{intercambio}} (W) \geq 51600$$

Instalación ACS paneles solares

El tipo de intercambiador de calor elegido para el circuito de la instalación es un intercambiador de placas, comúnmente utilizados en la producción de ACS debido al alto rendimiento que ofrecen. El sentido de circulación de los fluidos será en contracorriente, es decir los dos fluidos se mueven en sentidos opuestos, lo que permite que el sistema pueda mantener un gradiente casi constante entre ellos a lo largo de la ruta de movimiento.

El intercambiador de calor elegido será el equipo Vitotrans 100 de la compañía Viessman (nº de configuración del intercambiador 3003 495).

## 7.4 Circuito hidráulico

Para los sistemas citados anteriormente se necesita un sistema de conducciones que transporte los fluidos de un equipo a otro de la forma más eficiente y segura posible.

Se pueden diferenciar varios circuitos hidráulicos en una instalación:

1. Circuito primario: circuito del que forma parte los captadores y las tuberías que los unen, en el cual el fluido recoge la energía solar y la transmite.
2. Circuito secundario: circuito en el que se recoge la energía transferida del circuito primario para ser distribuida al acumulador de inercia.
3. Circuito terciario: circuito en el que se recoge la energía transferida del circuito secundario para ser distribuida a los puntos de consumo.

#### 4. Circuito de consumo: circuito por el cual circula el agua de consumo.

En el presente proyecto se recurre a un intercambiador externo y a un acumulador de inercia, ya que la instalación tiene un tamaño considerable, con lo cual la transmisión de calor se realizará en varias etapas.

El CTE presta especial atención al circuito primario, las siguientes etapas hasta el consumo deben cumplir las condiciones generales de todo sistema de suministro de ACS sobre pérdidas de carga reducida, aislamiento térmico, etc. Es por ello que se obliga a concebir un circuito hidráulico equilibrado y a ser posible controlado por válvulas de equilibrado. Para lograr esto se debe producir un recorrido en el que las tuberías sufran pérdidas de carga similares, lo cual se estudiará más adelante en el apartado destinado al conexionado de captadores.

### 7.5 El fluido caloportador

El fluido caloportador pasa a través del absorbedor y transfiere a la parte del sistema de aprovechamiento térmico (acumulador o interacumulador) la energía. Los tipos más usados son el agua y la mezcla de anticongelante, pueden ser también aceites de silicona o líquidos orgánicos sintéticos.

Los anticongelantes son glicoles y los más usados son el etilenglicol y el propilenglicol. Las características fundamentales de los anticongelantes son:

- Son tóxicos – Debido a que llevan una sustancia que se conoce como inhibidores de la corrosión que es beneficioso para los dispositivos de la instalación. Se debe impedir que se mezcle con el agua de consumo (haciendo la presión del secundario mayor que la del primario, por prevención ante una posible rotura del intercambiador).



- Son muy viscosos – Al ser más espesos le cuesta al líquido más avanzar, aumentando la pérdida de carga, factor a tener en cuenta a la hora de elegir la electrobomba que suele ser de mayor potencia.
- Dilata más que el agua cuando se calienta - Para evitar las sobrepresiones se utiliza el vaso de expansión. Si se diseña el vaso como para que aguante una presión como si fuese sólo agua, la membrana del vaso llega un punto en el que no da más de sí y se produciría la sobrepresión en el circuito.
- Es inestable a más de 120°C – Si alcanzase más de esta temperatura, se degrada convirtiéndose en un ácido muy corrosivo que afectaría a la vida de los elementos de la instalación. Además pierde sus propiedades por lo que deja de evitar la congelación. Los hay que aguantan más temperatura pero son más caros.
- La temperatura de ebullición disminuye a la del agua – Podría verse como una ventaja porque significa que absorbe más energía.
- El calor específico disminuye al del agua. Por absorber más energía, tarda también más en perderla o entregarla, por lo que la ventaja anterior se anula al no transferir todo el calor que ha ganado.

Para calcular la cantidad de anticongelante que hay que añadir a una instalación, primeramente hay que consultar en la tabla de temperaturas históricas cuál es la mínima temperatura registrada en la ciudad donde se situara la instalación. Una vez que se conoce se revisa la gráfica de los glicoles que suministra el fabricante y se traslada el valor que indica cuál es el porcentaje necesario.

En el caso de la instalación para Colmenar Viejo se tiene un histórico máximo de -9,8 °C en el mes de Enero, pero el CTE establece que el fluido de trabajo deberá

mantenerse 5° C por debajo de ésta temperatura. Con todo esto, la temperatura de congelación que se debe conseguir en la mezcla es de -14, 8° C.

Atendiendo al Pliego de Condiciones Técnicas Solar de Baja Temperatura, se establece que el fluido de trabajo debe tener un pH comprendido entre 5 y 9 cuando el fluido se encuentre a 20 °C, y su contenido en sales no debe exceder los 500 mg/l totales de sales solubles, condiciones que cumple el etilenglicol.

Para el etilenglicol se obtiene la siguiente curva de congelación en porcentaje en agua:

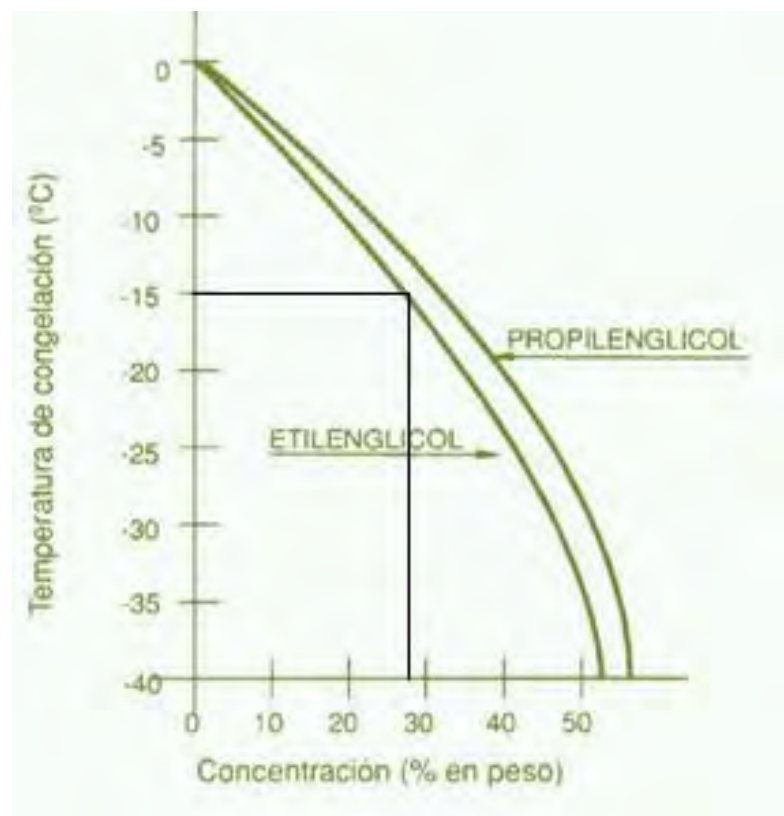


Ilustración 78. Selección de % de glicol [50]

Observamos que la concentración de etilenglicol que se necesita será aproximadamente de un 28 % de etilenglicol en agua.

Para conocer las diferentes propiedades del fluido y cómo se comportará en el sistema se aproximará la temperatura de éste constante a lo largo del recorrido. La temperatura máxima de congelación es de  $-15^{\circ}\text{C}$  y la máxima de trabajo estará en torno a los  $100^{\circ}\text{C}$  obteniendo así una media de  $40^{\circ}\text{C}$ . Esta media se toma como aceptable ya que primero la temperatura máxima en el sistema será de  $60^{\circ}\text{C}$ ; además de que la variación de las propiedades en este rango de temperaturas es mínima.

### Viscosidad

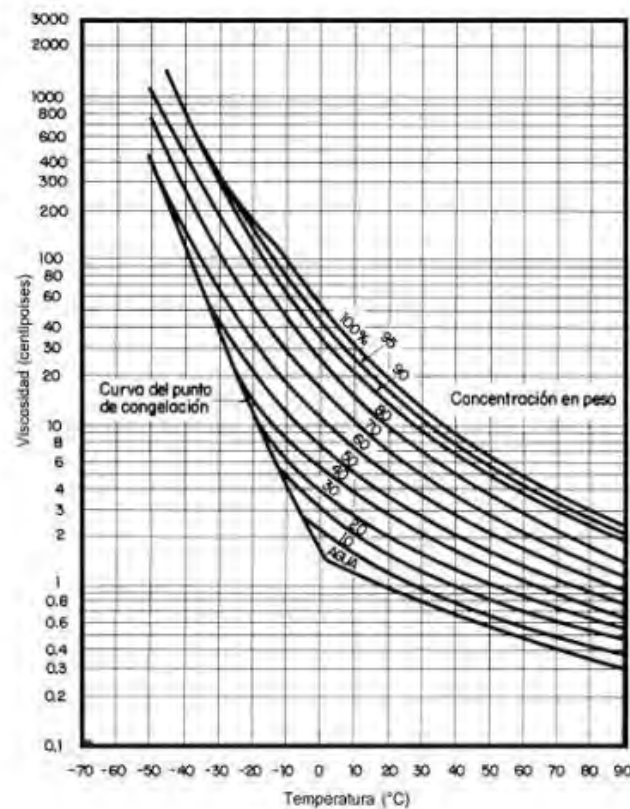


Ilustración 79. Viscosidad etilenglicol [51]

## Densidad

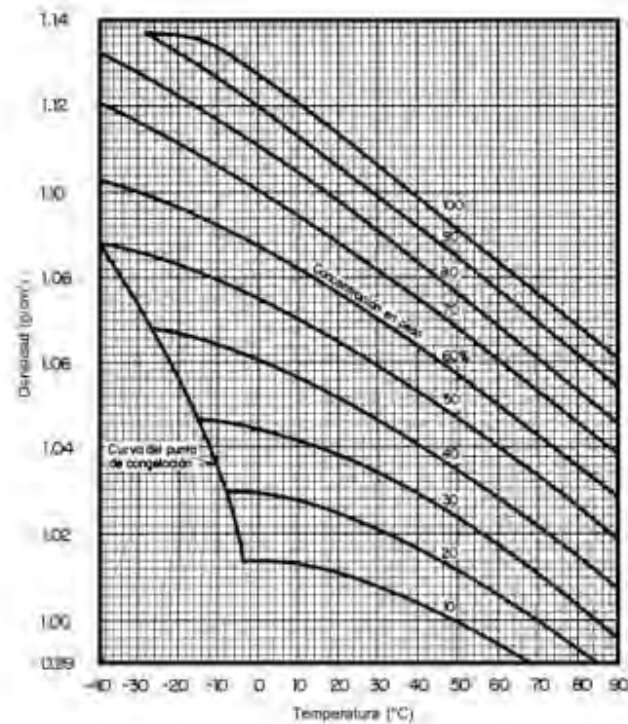


Ilustración 1. Densidad etilenglicol [52]

## Conductividad térmica

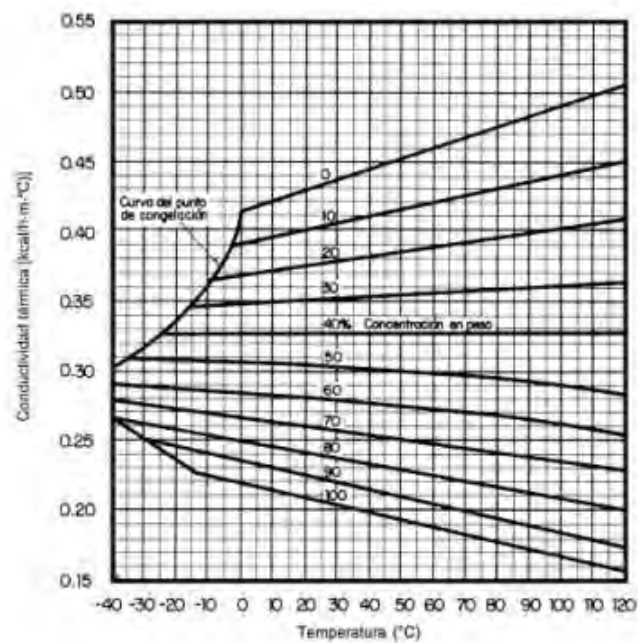


Ilustración 2. Conductividad térmica etilenglicol [53]

### Calor específico

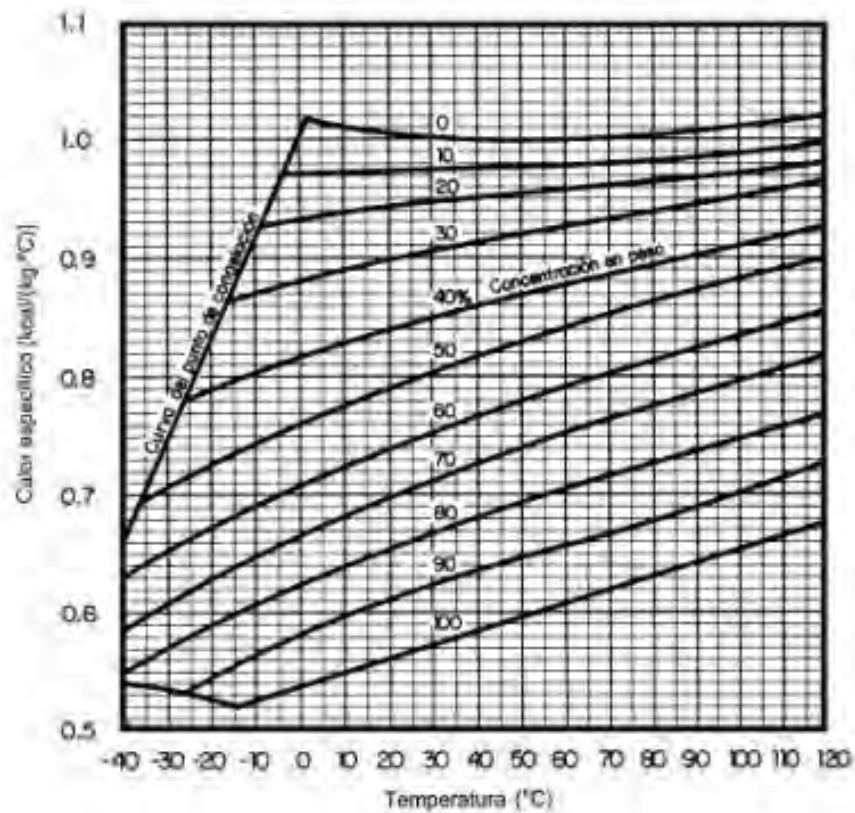


Ilustración 82. Calor específico etilenglicol [54]

Con estas tablas obtendremos la tabla de propiedades del fluido caloportador, etilenglicol en agua al 30% y a una temperatura de trabajo de 40°C:

Propiedad	Valor
Viscosidad	1,9
Densidad	1,03
Conductividad térmica	0,35
Calor específico	0,9

Tabla 17. Propiedades agua+ etilenglicol al 30%

## 7.6 Conexionado de captadores

En los sistemas que requieren varios captadores para el suministro de la energía térmica demandada, éstos deben conectarse en serie y/o paralelo, tratando de mantener un flujo uniforme o equilibrado en todos ellos. Si por alguno de los conductos del primario a su paso por los captadores circula un flujo inferior a lo previsto, la extracción de calor del absorbedor será deficiente, con un incremento excesivo de la temperatura del equipo, que incrementa las pérdidas.

El CTE presenta un conjunto de requisitos para el conexionado de captadores solares térmicos:

1. Se debe prestar especial atención en la estanqueidad y durabilidad de las conexiones del captador.

2. Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre, en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc. Además se instalará una válvula de seguridad por fila con el fin de proteger la instalación.

3. Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante. En el caso de que la aplicación sea exclusivamente de ACS se podrán conectar en serie hasta 10 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas I y II, hasta 8 m<sup>2</sup> en la zona climática III y hasta 6 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas IV y V.

4. La conexión entre captadores y entre filas se realizará de manera que el circuito resulte equilibrado hidráulicamente recomendándose el retorno invertido frente a la instalación de válvulas de equilibrado.

El conexionado en serie implica que existe un caudal único por toda la rama así conectada. El caudal circulante incrementa su temperatura por etapas, a su paso por cada captador. La restricción del párrafo anterior del CTE se debe a que en zonas de menor insolación (zonas climáticas I y II) se requiere un mayor número de etapas (captadores en serie) para obtener el mismo salto térmico total, ya que el calentamiento por cada etapa es inferior al de las zonas de mayor insolación.

Se indica también que para lograr el equilibrado del sistema es preferible una conexión con retorno invertido a la instalación de válvulas de equilibrado. La conexión con retorno invertido consiste (ver ilustración 83) en llevar la conducción del fluido frío al captador más lejano y a partir de ahí distribuir el fluido a todos los captadores por su parte baja. La recogida del fluido caliente se realiza por la parte superior opuesta a la conexión de entrada, y en orden contrario a como se ha distribuido, es decir, el captador que se alimenta el último es ahora del que se recoge primero el fluido caliente y viceversa.



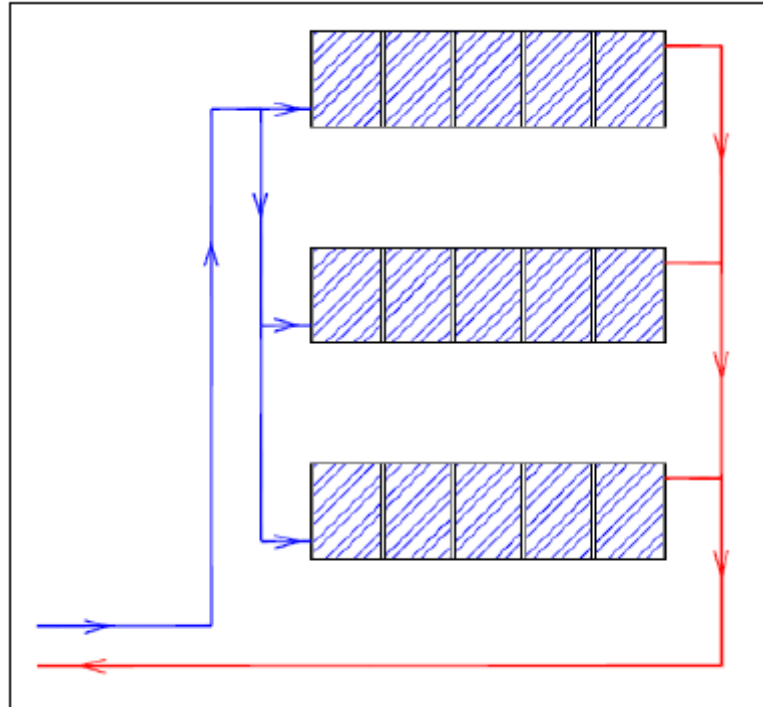


Ilustración 3. Conexionado con retorno invertido

Para que el retorno invertido realmente provoque un reparto uniforme de caudales, las pérdidas de carga en las tuberías de conexión y distribución deben ser al menos tres veces inferiores a la pérdida de carga en cada captador. Es decir, es el captador el que define principalmente las pérdidas de carga del conjunto.

A continuación se describen las diferentes configuraciones de los sistemas de captación en las instalaciones solares térmicas.

### 7.6.1 Conexionado en paralelo

En el conexionado de captadores en paralelo el flujo del primario que proviene del intercambiador se divide en tantas partes como ramas en paralelo haya. Al paso



por el captador, el fluido incrementa su temperatura en un valor similar en todos ellos, siempre que el caudal circulante y la radiación incidente sean iguales. A la salida, los caudales de los captadores se vuelven a juntar en una conducción de distribución de mayor diámetro, que retorna al intercambiador o interacumulador, donde cede parte de su calor.

En este tipo de conexiones las pérdidas de carga son reducidas, ya que el recorrido del fluido por los captadores es corto, en comparación con la conexión serie. El caudal es elevado en la distribución, pero basta con diseñar un diámetro de conductos suficiente. La conexión en paralelo permite disponer de caudales totales elevados.

Además del diseño del circuito primario con retorno invertido mostrado en la figura anterior, existen equipos que incorporan la tubería de distribución y las conexiones de forma que se puede realizar el acoplamiento entre captadores directamente, sin necesidad de añadir tuberías externas para componer la conexión paralela. Cada una de estas unidades, de no más de 5 equipos, se denomina batería de captadores. Para formar un campo de captación mayor se pueden conectar varias baterías de captadores en paralelo (o en serie), como se muestra en el ejemplo en la ilustración 84.

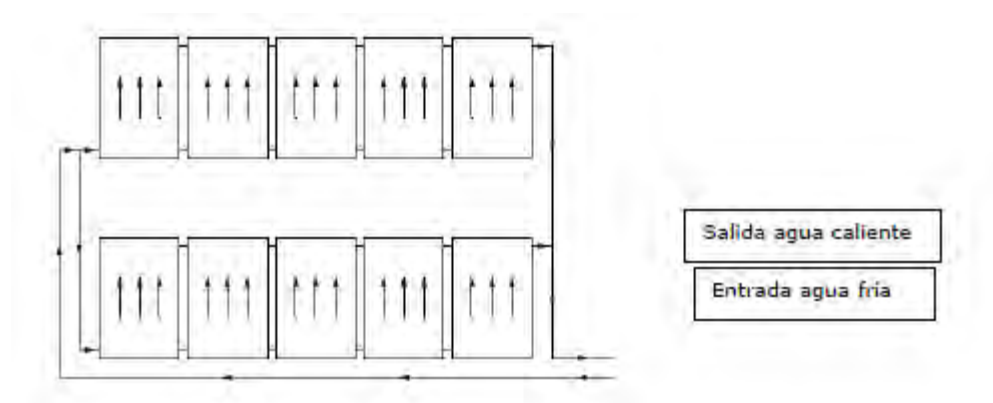


Ilustración 844. Conexión en paralelo

Si todos los captadores están conectados en paralelo, el caudal total de diseño del circuito primario es igual al producto del caudal específico del campo solar por la superficie total de captadores.

$$Q_{total} \left( \frac{l}{h} \right) = Q_s \left( \frac{l}{h} \cdot m^2 \right) \cdot S_{captación} (m^2)$$

$$Q_{total} \left( \frac{l}{h} \right) = Q_s \left( \frac{l}{h} \cdot m^2 \right) \cdot N_{captadores} \cdot S_{captador} (m^2)$$

Si de las hojas técnicas del fabricante se conoce el caudal por captador, el caudal total en la conexión paralelo es:

$$Q_{total} \left( \frac{l}{h} \right) = Q_{captador} \left( \frac{l}{h} \right) \cdot N_{captadores}$$

### 7.6.2 Conexión en serie

En el conexionado en serie el flujo total del primario pasa por todos y cada uno de los captadores. De la salida del primero de ellos se accede a la entrada del segundo, de la salida de este a la entrada del siguiente, como se muestra en la figura 85.

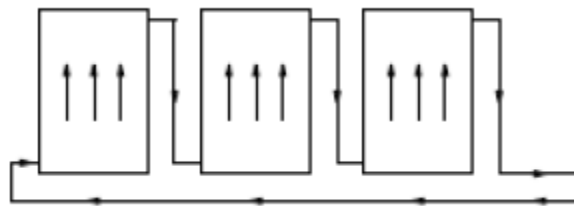


Ilustración 85. Conexión captadores en serie

Así pues, en conexión serie el caudal total del conjunto de captadores es igual al caudal de un captador:

$$Q_{total} \left( \frac{l}{h} \right) = Q_{captador} \left( \frac{l}{h} \right)$$

Si el dato conocido es el caudal específico (por unidad de superficie) el caudal total es el producto de dicho caudal específico por la superficie de un captador:

$$Q_{total} \left( \frac{l}{h} \right) = Q_s \left( \frac{l}{h, m^2} \right) \cdot S_{captador} (m^2)$$

Se comprende que en una conexión serie el caudal del circuito primario es reducido. Con este caudal, el incremento de temperaturas en las diferentes etapas es elevado, con un rendimiento inferior del campo solar. El número de captadores en serie debe limitarse para evitar problemas de sobrecalentamiento.

Es posible aumentar el caudal sobre lo indicado como mínimo por el fabricante, si bien este aumento implica mayores pérdidas de carga en los captadores.

Resumiendo, la conexión serie se caracteriza por caudales de circulación bajos y pérdidas de carga elevadas. Estas condiciones dificultan las labores de bombeo del agua.

### 7.6.3 Conexión en serie-paralelo

En una instalación de gran tamaño resulta complejo obtener un sistema totalmente equilibrado mediante conexión paralelo exclusivamente, aunque incorpore retorno invertido.

Por otra parte, el número de captadores en serie está limitado por temperatura. Al ser los caudales de circulación bajos no es posible incluir un número de etapas de calentamiento excesivo.

Combinando ambas configuraciones, se obtiene el conexionado mixto, serie-paralelo, como el mostrado en la siguiente figura:

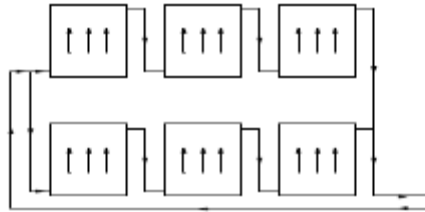


Ilustración 86. Conexión combinada (serie + paralelo)

En esta conexión el caudal total es la suma de los caudales de las ramas en paralelo:

$$Q_{total} \left( \frac{l}{h} \right) = Q_{captador} \left( \frac{l}{h} \right) \cdot N_{paralelo}$$

Este tipo de conexionado aprovecha las ventajas de ambas configuraciones y reduce sus inconvenientes. Debido a que las pérdidas de carga en los captadores son al menos 3 veces superiores a las de las conducciones externas, de distribución, se favorece el equilibrado del sistema. De esta forma, no es necesario el diseño de un retorno invertido que implica un coste elevado en tuberías de caudal (denominado bajo flujo o low-flow).

Como vimos anteriormente, el CTE establece que cuando se tiene una aplicación exclusivamente destinada a la obtención de agua caliente sanitaria, sólo se podrán conectar en serie hasta 10 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas I y II, 8 m<sup>2</sup> en la zona climática III y 6 m<sup>2</sup> en las zonas climáticas IV y V.

En este caso, se tienen unos captadores cuya superficie bruta es de 2,58 m<sup>2</sup>, con lo que no se podría colocar más de 2 captadores en serie, ya que se excederían las condiciones del CTE.

Por tanto, se decide que la configuración adecuada para el edificio será la conexión en paralelo de 5 baterías de 8 captadores paralelos en serie dos a dos, con objeto de evitar diferencias de temperatura y pérdida de carga. Además, según establece el Pliego de Condiciones Técnicas Solar de Baja Temperatura, los captadores se deben disponer en filas, constituidas preferentemente, por el mismo número de elementos.

El caudal recomendado por el suministrador de los captadores solares es de  $45 \text{ l/h.m}^2$  lo cual está dentro del margen suministrado por el CTE de  $43\text{-}72 \text{ l/h.m}^2$

$$Q_{\text{Captador}} \left( \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) = Q_{\text{captador}} \left( \frac{\text{l}}{\text{h.m}^2} \right) \cdot S_{\text{captador}}$$

$$Q_{\text{captador}} \left( \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) = 45 \cdot 2,58 = 116,1 \text{ l/h}$$

Se disponen de 20 captadores en paralelo (los que están en serie tienen el mismo caudal) por lo que el caudal total que se necesita en el circuito primario será:

$$Q_{\text{total}} \left( \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) = Q_{\text{captador}} \left( \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) \cdot N_{\text{paralelo}}$$

$$Q_{\text{total}} \left( \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) = Q_{\text{captador}} \left( \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) \cdot 20$$

$$Q_{\text{total}} \left( \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) = 116,1 \cdot 20 = 2322 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 2,32 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 7.6.4 Distribución de los captadores en cubierta

Tras definir que se utilizaran 40 captadores en 5 baterías (grupos de 2 captadores en serie) se estudiará si dicha configuración es posible para la cubierta del edificio.

A continuación se detallan las características dimensionales que ocupará el captador en la cubierta del edificio:

Captador solar	
Ancho	1,26 m
Ancho dos captadores unidos en serie	2,52 m
Largo	2,2 m
Largo proyección captador en cubierta (al estar inclinado)	1,414 m
Distancia entre captadores	4,7 m
Largo total batería captador (distancia separación + largo captador)	19,756
Área total ocupada 1 batería	49,785 m
Área total 5 baterías	248,925 m

Tabla 18. Características captador solar

Viendo el total de ocupación por los captadores y la distancia necesaria que hay que colocar entre ellos de 248,925 m, lo que parece bastante posible en la cubierta. Aun así se debe estudiar la colocación de los captadores para ver si es posible su instalación con dicha configuración en la fachada.

En la siguiente imagen se muestra su distribución en cubierta:

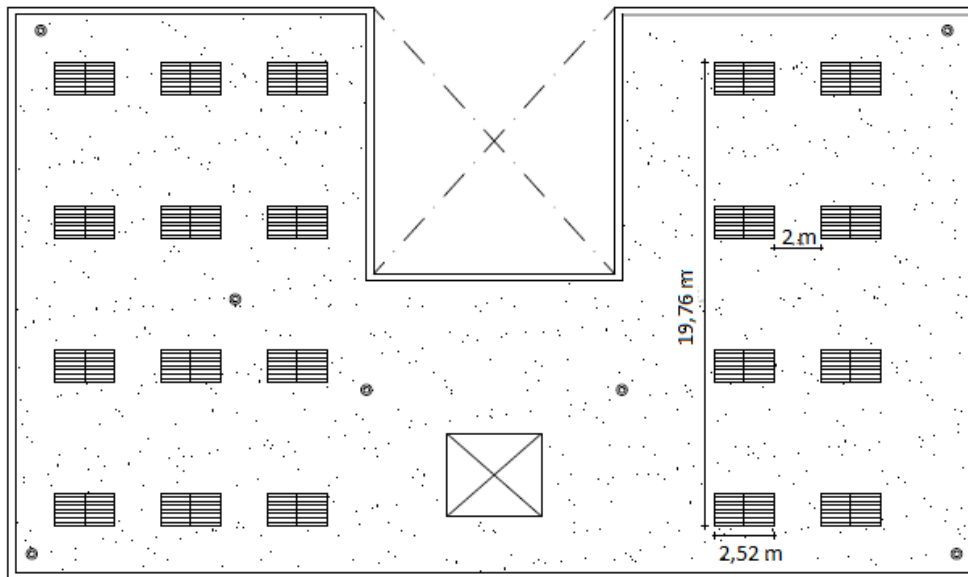


Ilustración 87. Situación captadores en cubierta

## 7.7 Tuberías

A la hora de seleccionar el material de las tuberías que formarán la instalación, se debe tener en cuenta si el sistema de intercambio es directo o indirecto. En España está prohibido el uso de sistemas directos al agua de consumo, pese a ser más sencillos se necesita un gran esfuerzo en asegurar las condiciones sanitarias del consumo sin influir en la instalación pudiendo provocar problemas de corrosión en el circuito primario (por el elevado contenido en oxígeno) o los depósitos calcáreos en el circuito de captadores reduciendo así la eficiencia de éstos. Además en un sistema directo no se podría añadir producto anticongelante al agua de consumo, por lo que se tendrían problemas con la congelación en las tuberías colocadas en exteriores.

En el presente caso, se tiene un sistema indirecto, el fluido de trabajo que circula por los captadores se mantiene en un circuito independiente al de consumo.

Para las tuberías del circuito primario, podrán emplearse materiales como el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embridadas y protección exterior con pintura anticorrosiva. También se permite el uso de material plástico acreditado apto para este tipo de aplicación.

Para el circuito secundario y de consumo, se podrán emplear materiales como el acero inoxidable, el cobre o el acero galvanizado. Además podrán utilizarse materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito, cumplan las normas UNE que le sean de aplicación y este autorizada su utilización por las compañías de suministro de agua potable.

En las instalaciones solares térmicas, se considera que se pueden llegar a alcanzar temperaturas superiores a los 65°C. Como no se permite el uso de acero galvanizado para tuberías, en el caso de que se superen los 53°C, este material tampoco se podrá emplear.

Las características más importantes de los materiales utilizados en este tipo de instalaciones son:

Cobre: Es el material más aconsejable para instalaciones de energía solar por técnicamente idóneo y económicamente competitivo. Posee una elevada resistencia a la corrosión, es dúctil y maleable. Tiene una baja rugosidad, lo que supone que a igual diámetro, tiene una pérdida de carga menor, comparado con otros materiales.

Acero inoxidable: Presenta un excelente comportamiento frente a temperaturas elevadas y respecto a la corrosión. También tiene una pérdida de carga pequeña, elevada resistencia mecánica y alta maleabilidad. A pesar de ello, no es común en este tipo de instalaciones debido a su elevado coste.



Tuberías de plástico: Posee cualidades semejantes a las del cobre. Se pueden utilizar tuberías de polietileno reticulado siempre que se garantice su uso por encima de los 120: C. Se pueden utilizar tubos multicapa de polietileno-aluminio-polietileno, a los que a la flexibilidad e inercia química del polietileno, se le añaden la estabilidad en forma y una mayor resistencia a la presión.

Según la velocidad del fluido y la acidez del agua se deberán cumplir las siguientes exigencias, según criterios sanitarios:

Siempre que se utilice acero en tuberías o accesorios la velocidad del fluido será inferior a 3 m/s en sistemas cerrados y el pH del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 12.

Siempre que se utilice aluminio en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 1,5 m/s y su pH estará comprendido entre 5 y 7. No se permitirá el uso de aluminio en sistemas abiertos o sin sistemas de protección catódica.

A la vista de los posibles materiales a emplear, se decide que el material que se utilizará para toda la instalación será el cobre, ya que presenta unas propiedades muy adecuadas y desde el punto de vista económico será el más rentable.

Es necesario determinar cuál debe de ser la sección mínima que deben tener las conducciones para que la pérdida de carga no exceda un límite razonable. Para ello se debe partir de la velocidad que tendrá el fluido cuando atravesase los conductos. Se recomiendan velocidades máximas de 1.3 m/s para el circuito primario y de 2.5 m/s para el circuito secundario, siendo la velocidad mínima de 0.3 m/s. El sentido de estas limitaciones es por cuestiones acústicas que puedan afectar a las viviendas en el límite superior y el límite inferior para evitar posibles sedimentaciones.

Además, el dimensionado se debe realizar de tal manera que, la pérdida unitaria en tuberías no supere 40mm de columna de agua por metro lineal. Para calcular el diámetro necesario de las tuberías se recurre a la siguiente expresión:

$$Q = S \cdot v = \pi \cdot r^2 \cdot v = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot v$$

Dónde:

Q = Caudal que circulará por los captadores  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

S = Superficie de la tubería  $[m^2]$

v = Velocidad del fluido que circula por la tubería  $\left[\frac{m}{s}\right]$

r = Radio de la tubería  $[m]$

d= Diámetro de la tubería  $[m]$

De la expresión anterior, se procede a despejar el diámetro de la tubería, con lo que se tiene:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Según se ha establecido anteriormente, el caudal que circulará por los captadores es de 2322 l/h.

$$2322 \frac{l}{h} = 6,43827 \cdot 10^{-4} m^3/s$$

Como se ha comentado, la velocidad máxima recomendada para el circuito primario debe ser de 1.3 m/s. Tomando esta velocidad se obtiene que el diámetro mínimo necesario es de:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,43827 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 1,3}} = 0,02511 \text{ m}$$

$$d = 25,11 \text{ mm}$$

Tras haberse obtenido este diámetro, se procede a obtener el valor del diámetro normalizado correspondiente. A continuación, se muestra una tabla, donde se encuentran una serie de diámetros nominales, y en función de estos, los espesores de pared nominal más adecuados para la tubería. [55]

Valores en milímetros

Diámetro exterior nominal $d$	Espesor de pared nominal $e$											
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	2,0	2,5	3,0
6		R		R		R						
8		R		R		R						
10		R	R	R		R						
12		R	R	R		R						
14				R		R						
15			R	R		R						
16						R						
18				R		R						
22					R	R	R	R				
28					R	R		R	R			
35						R		R	R			
40						R						
42						R		R	R			
54						R		R	R	R		
64										R		
66,7								R		R		
76,1									R	R		
88,9										R		
108									R		R	
133									R			R
159										R		R
219												R
267												R

R Indica las medidas recomendadas en los códigos nacionales de buena práctica. Véase también el anexo A.

Ilustración 88. Diámetros nominales y espesor de pared

Puesto que el diámetro mínimo obtenido era de 25,11 mm, el diámetro nominal que se necesita, será el valor inmediatamente superior existente en la tabla, es decir, 28 mm y se escogerá un espesor para las paredes de la tubería de 1 mm.

Como el diámetro normalizado, es mayor que el obtenido a priori, se debe recalcular la velocidad que tendrá el fluido cuando circule por estas tuberías para ver si cumple con los requisitos. Si se despeja la velocidad de la expresión se tiene que:

$$v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d^2}$$

$$v = \frac{6,43827 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,028^2}$$

$$v = 1,0455 \text{ m/s}$$

Se observa entonces que la velocidad obtenida se encuentra entre los valores mínimo y máximo recomendados de 0.3 m/s y 1.3 m/s, respectivamente, con lo que se tendrá una velocidad adecuada.

Es necesario determinar la longitud total de las tuberías que se requerirá en la instalación. Para ello, se ha de tener en cuenta que el diámetro de tubería obtenido anteriormente, se ha determinado según el número total de captadores. Éste diámetro, es el que tendrá la tubería general que unirá el campo de captadores con el cuarto de máquinas que se encontrará en el sótano, donde se colocará el intercambiador de calor y el acumulador, junto con otros elementos como el vaso de expansión. Estos elementos se colocan en el sótano, debido a las condiciones de peso y espacio, sobre todo por el acumulador, ya que debe estar colocado de pie para mantener el grado de estratificación.

Esta tubería general, discurrirá desde la cubierta hasta el sótano, atravesando el edificio por un canal habilitado para ello, que se encuentra en los conductos de ventilación de los cuartos de baño. Se tendrán dos conducciones, una de subida que llevará el fluido frío desde la salida del intercambiador de calor y otra de bajada de fluido caliente obtenido en los captadores. Por lo que, teniendo en cuenta estas dos conducciones, la altura del edificio y el tramo que habrá desde la bajada en el sótano hasta el intercambiador de calor se podrá calcular posteriormente la longitud total de esta tubería.

En la cubierta, hasta llegar a la unión con dicha tubería general, el diámetro de la tubería que proviene de cada batería de captadores será diferente. La instalación consta con 5 baterías de captadores en la cubierta, cada batería de captadores consta de grupos de 8 captadores solares unidos en filas paralelas de 2 captadores en serie. Por lo tanto el caudal necesario para cada batería será de:

$$Q_{\text{batería}} \left( \frac{l}{h} \right) = Q_{\text{captador}} \left( \frac{l}{h} \right) \cdot N_{\text{paralelo}}$$

$$Q_{\text{batería}} \left( \frac{l}{h} \right) = 116,1 \frac{l}{h} \cdot 4 = 464,4$$

Las baterías necesitarán un diámetro de tuberías de:

$$464 \frac{l}{h} = 1,28653 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,28653 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 1,3}} = 0,01122 \text{ m}$$

$$d = 11,22 \text{ mm}$$

Como se realizó anteriormente, se vuelve a recurrir al diámetro nominal inmediatamente superior a este valor obtenido, con lo que para este tramo se utilizará una tubería de 12 mm y 1 mm de espesor. Con ello se obtiene una velocidad de fluido en este tramo de:

$$v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d^2}$$

$$v = \frac{1,28653 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,012^2}$$

$$v = 1,137 \text{ m/s}$$

Como se puede observar, las velocidades obtenidas están dentro del rango de velocidades recomendado, con lo que los diámetros de tubería obtenidos serán válidos.

Desde las baterías de captadores, se harán conducciones hasta la unión con la tubería general. La unión de estas, se realizará aproximadamente en el punto donde se encuentra el segundo ascensor del edificio, con lo que los tramos provenientes de cada batería de captadores tendrán diferentes distancias. Además para calcular estas distancias se debe tener en cuenta que en la conexión de los captadores se utilizó la técnica del retorno invertido, donde circulará el fluido frío por la parte más baja de los captadores y el fluido caliente se recogerá por la parte superior.

Se ha obtenido que el diámetro nominal que se utilizará para las conducciones de todos estos tramos sea el mismo con un valor de 12 mm.



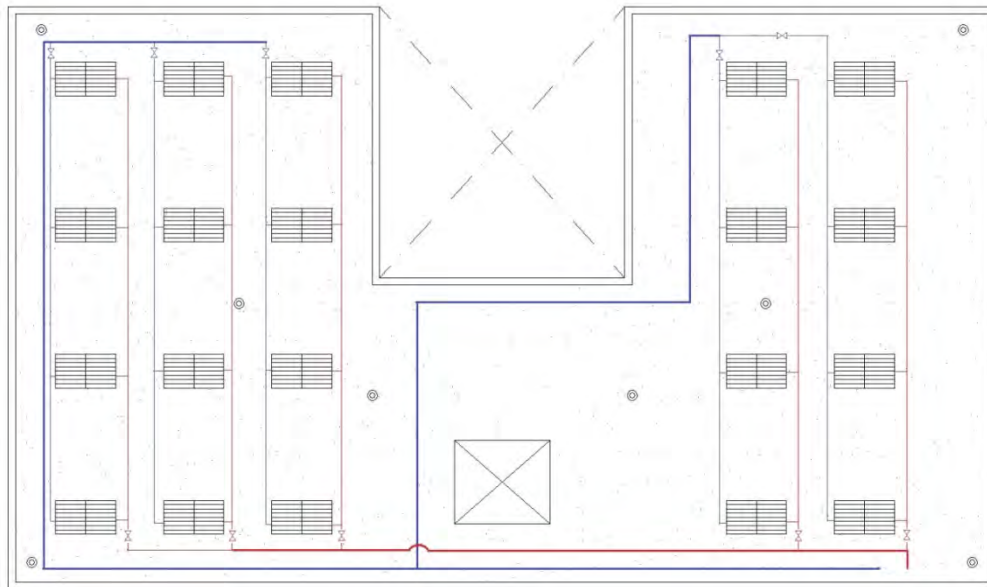
Se obtendrán las tuberías con los diámetros requeridos recurriendo a la empresa García Ruiz, S.A., la cual ofrece equipamiento para fontanería, calefacción e instalaciones para la producción de agua caliente sanitaria.

### **7.7.1 Diagrama conexionado captadores en cubierta**

Se necesita conocer la longitud total de las tuberías del circuito hidráulico para posteriores cálculos tales como la pérdida de carga para dimensionar la bomba o presiones para el vaso de expansión.

A continuación se muestra el circuito de tuberías en la cubierta, respetando lo máximo posible la distribución con retorno invertido; se intenta llevar la tubería al captador más lejano desde dónde se distribuye (al tener separado en dos alas las baterías a mitad de la administración de agua fría se divide en dos para cada ala); como la posibilidad de aislamiento de los captadores en grupos de baterías mediante válvulas para posibles mantenimientos.

El esquema queda por lo tanto de la siguiente manera:



**Ilustración 89. Conexión tuberías en cubierta**

No se representa el resto del circuito primario ya que el resto de componentes (representados anteriormente en el gráfico general de la instalación) se encuentran en la misma sala y las conducciones entre ellos serán menores.

Es por ello que teniendo en cuenta el gráfico anterior, midiendo las conducciones en resto de componentes y sabiendo que la altura del edificio es de 21 m, el total de longitud de nuestras tuberías es el siguiente:

<b>Longitud Tubo 28 mm (en cubierta)</b>	133 m
<b>Longitud Tubo 12 mm (en cubierta)</b>	205 m
<b>Longitud Tubo 28 mm altura del edificio (subida agua fría, bajada de agua caliente)</b>	42 m
<b>Longitud Tubo 28 mm (resto circuito primario)</b>	5 m
<b>Longitud total 28 mm</b>	<b>180 m</b>
<b>Longitud total 12 mm</b>	<b>205 m</b>

**Tabla 19. Longitudes tuberías**



## 7.8 ELEMENTOS AUXILIARES

### 7.8.1 Válvulas

Las válvulas son dispositivos que se emplean para controlar o impedir la circulación del fluido por una tubería.

El principal grupo de válvulas son las denominadas válvulas mezcladoras. Las válvulas mezcladoras se utilizan para reducir a un valor determinado, la temperatura de un flujo de agua caliente, mezclándola con un flujo de agua fría. Para la regulación de las temperaturas de ACS se emplean dos tipos de válvulas:

- Motorizadas.
- Termostáticas.

En ambos casos el cuerpo de la válvula debe estar diseñado para trabajar con agua de consumo, siendo los materiales más habituales acero inoxidable, bronce o aleaciones especiales.

Válvulas motorizadas:

Son válvulas de tres vías (acumulación, agua fría, distribución de ACS) que actúan mediante servomotores proporcionales comandados por reguladores que reciben las señales de las sondas de temperatura.

Considerando las variaciones tan importantes que se producen en las demandas de ACS, deben ser de respuesta muy rápida.

### Válvulas termostáticas:

Funcionan directamente mediante un elemento sensible a la temperatura que las posiciona de manera continua.

Existen dos tipos, las diseñadas para colocar a la salida de los depósitos de acumulación, que son válvulas de 4 vías: las tres correspondientes a las motorizadas (acumulación, agua fría y ACS) y una cuarta vía en la que se conecta la recirculación; el caudal de recirculación mantiene a la válvula continuamente en actuación y facilita la adecuación a las condiciones de demandas variables.

Los propios fabricantes especifican cuál es el caudal mínimo de recirculación para mantener la válvula activa, que como mínimo suele ser el 10% del caudal nominal.

Otro tipo de válvulas termostáticas están diseñadas para su ubicación próxima a los puntos de consumo siendo exclusivamente de tres vías, no admitiendo la recirculación.

Por último se han diseñado válvulas termostáticas de dos vías para instalar exclusivamente en montantes de recirculación, que reducen el caudal al necesario para mantener las temperaturas de consigna en los mismos.

Existen más tipos de válvulas según su función dentro de la instalación tales como:

- Aislamiento o corte: Para realizar tareas de mantenimiento de forma segura se recomienda situar válvulas a la entrada y salida de los principales equipos.



- Equilibrado de circuitos: Introducen una pérdida de carga adicional para obtener el equilibrado de caudales en el circuito.
- Vaciado del circuito: Por recambio del líquido degradado o por mantenimientos.
- Llenado de circuito y presurización: Se debe garantizar un nivel de presión adecuado y reducir la entrada de aire lo máximo posible.
- Seguridad: Válvulas taradas a una determinada presión que permitirán la salida del fluido si el circuito aumenta dicho valor de presión.
- Retención: Válvulas antirretorno para evitar la circulación del fluido en un sentido no deseado.

### **7.8.2 Vaso de expansión**

El vaso de expansión permite absorber los aumentos de volumen producidos por la elevación de la temperatura del fluido caloportador. En una instalación al producirse el calentamiento del agua, ésta se dilata aumentando su volumen, lo que puede provocar una situación peligrosa en la instalación. Los vasos de expansión son los encargados de compensar este aumento de volumen del agua, evitando que la presión del circuito sobrepase la presión nominal de sus componentes. Cuando ésta presión se alcanza la válvula de seguridad escapa parte del fluido. Cuando el fluido se enfría retorna al circuito. Tenemos dos tipos de vasos de expansión, abierto y cerrado, en el presente caso se utilizará un sistemas cerrado que es lo recomendado para instalaciones de tamaño medio y grande.

El dispositivo de expansión cerrado del circuito solar deberá estar dimensionado de tal forma que, incluso después de una interrupción del suministro eléctrico a la bomba de circulación, justo cuando la radiación solar sea máxima, se pueda restablecer el funcionamiento de la instalación automáticamente cuando el suministro esté disponible de nuevo.

Ello forma parte de la seguridad intrínseca de la instalación solar, es decir de la posibilidad de volver a ponerse en servicio automáticamente sin la intervención del titular ni personal de mantenimiento. Para ello es vital que el vaso de expansión esté bien diseñado y sea capaz de recoger toda la expansión que se produce en el líquido solar durante un estancamiento donde se suele producir la formación de vapor en los captadores.

El vaso de expansión debe ser capaz de recoger en su interior:

1. El volumen de la dilatación del fluido primario hasta las máximas temperaturas de funcionamiento.
2. Un volumen de reserva, que cubrirá una posible contracción del líquido en caso de heladas.
3. Un volumen desplazado por la formación de vapor durante un posible estancamiento de los colectores solares.

Así el volumen útil de un vaso de expansión será:

$$V_{\text{útil}} = V_{\text{dilatado}} + V_{\text{reserva}} + V_{\text{vapor}}$$

Cálculo del volumen dilatado:

La temperatura máxima de la instalación solar del presente proyecto está entorno a los 140°C, pues a partir de ahí lo que se suele formar es vapor en los captadores. Ello depende de la presión de la instalación y del porcentaje de propilenglicol.

Primero se anota el coeficiente de expansión del líquido calorportador que para esta temperatura y porcentaje de propilenglicol tiene un valor de:

$$C_e = 0,085$$

Por lo que el volumen dilatado será de:

$$V_{dilatado} = V_{total} \cdot C_e$$

El volumen total es el contenido en captadores, tuberías e intercambiador. Los volúmenes de los captadores y del intercambiador son de 68 l (el conjunto de los 40 captadores) y de 3,22 l (circuito primario de intercambiador) respectivamente.

El volumen de agua de las tuberías depende del diámetro y longitud de las mismas. Se calcula por geometría resultando:

<b>Tubo 28 mm (longitud 180 m)</b>	103,0599 l
<b>Tubo 12 mm (longitud 205 m)</b>	19,481 l
<b>Vtotal tuberías</b>	<b>122,541 l</b>

Tabla 20. Longitud tubos

$$V_{dilatado} = 122,54.0,085 = 10,42 \text{ l}$$

Se debe tener cierto volumen de reserva para poder purgar la instalación y tener un volumen disponible para entregar al circuito en caso de tener una helada.

El volumen estimado para la contracción del líquido se tomará un mínimo de 3 litros.

$$V_{reserva} = 3 \text{ l}$$

Para el volumen vaporizado se considera que se puede vaporizar todo el volumen de los colectores solares más un 10% para cubrir parte de las tuberías que pudieran contener vapor de agua.

$$V_{vaporizado} = V_{captadores} \cdot 1,1 = 68 \cdot 1,1 = 74,8 \text{ l}$$

El volumen útil será la suma de los volúmenes calculados anteriormente:

$$V_{total} = 10,42 + 3 + 74,8 = 88,22 \text{ l}$$

Se ha de considerar las presiones de trabajo de la instalación, tanto la presión mínima o de llenado de la instalación como la presión máxima que puede alcanzar la instalación.

Para el cálculo del coeficiente de presión ( $C_p$ ) se calcula utilizando la ley de los gases perfectos, para variaciones de volumen a temperatura constante que para vasos de expansión con diafragma será:

$$C_p = \left( \frac{PM}{PM - pm} \right)$$

Donde PM es la presión máxima de la instalación y pm la presión mínima absoluta de la instalación.

La presión mínima será función de la presión mínima de funcionamiento de la instalación más un pequeño margen de seguridad.

Esta presión mínima evitará que se vaporice con facilidad el líquido solar ante una ligera sobre temperatura (a mayor presión, mayor temperatura de ebullición)

Así la presión de llenado de la instalación será:

$$P_{llenado} = P_{mínima \text{ funcionamiento}} + 0,1 \cdot P_{estática}$$

La  $P_{mínima}$  tiene un valor de 3 bar.

La  $P_{estática}$  es la producida por la diferencia de metros entre los captadores (situados en la cubierta) y el vaso de expansión (situado en la sala de máquinas).

$$P_{llenado} = 3 + 0,1 \cdot 21 = 5,1$$

Así queda:

$$p_m = P_{llenado} + 1 + 0,5 = 5,1 + 1 + 0,5 = 6,6$$

El Valor 1 es la presión atmosférica y el 0,5 un margen de seguridad aportado.

La presión máxima de funcionamiento será ligeramente menor que la presión de disparo de la válvula de seguridad (la cual será de 9 bares) se seleccionará el menor de estos valores:

$$P_M = 0,9 \cdot P_{VS} + 1$$

$$PM = P_{vs} + 0,65$$

$$P_M = 0,9 \cdot 9 + 1 = 9,1$$

$$PM = 9 + 0,65 = 9,65$$

Quedando:

$$C_p = \left( \frac{9,1}{9,1 - 6,6} \right) = 3,64$$

Así el volumen nominal que deberá poseer el vaso de expansión será de:

$$V_{vaso} = V_{\text{útil}} \cdot C_p = 88,22 \cdot 3,64 = 321,12l$$

Se seleccionará el volumen del vaso comercial inmediatamente superior al del volumen calculado. El sobredimensionamiento en el vaso de expansión no provoca ningún tipo de perjuicio a la instalación; aunque si un casi seguro sobre coste económico.

El vaso de expansión elegido será el modelo DP/SV con capacidad de 400l de la empresa Mecalia.



### **7.8.3 Purga de aire**

El aire reduce la transmisión de calor, además de dificultar la circulación del agua y provocar riesgo de cavitación en la bomba. En caso de utilizar purgadores automáticos, además será necesario colocar los dispositivos necesarios para la purga manual.

### **7.8.4 Sistema de llenado**

En los sistemas con vasos de expansión abiertos se puede aprovechar el propio vaso de expansión para el llenado del circuito. En el presente caso cuyo vaso de expansión es cerrado se debe incorporar un sistema de llenado manual o automático.

En el llenado del circuito debe evitarse la entrada de aire así como mantener las condiciones del anticongelante.

## **7.9 Selección de la bomba**

La elección de la bomba del circuito dependerá directamente de las pérdidas de cargas que tenga que superar para mover el fluido y así garantizar su circulación. En el CTE se encuentra también un apartado que limita esta selección de la bomba de la manera siguiente:

Sistema	Potencia eléctrica de la bomba
Sistema pequeño	50W o 2% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores
Sistemas grandes	1% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores

Tabla 21. Selección de bomba por tipo sistema

La elección de la bomba estará condicionada a su vez por las pérdidas de carga del circuito. Estas pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, accidental o localizada debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc.

El cálculo de la pérdida de carga total en una instalación se obtiene a partir de un balance de presiones en la instalación (se tiene en cuenta que se tienen dos secciones de tubería diferentes con diámetros, velocidades y distinta cantidad de codos por lo tanto se debe sumar la pérdida de carga de las dos conducciones 1 y 2):

$$\Delta P_{1,2} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{1,2} \cdot v_{1,2}^2 \left\{ f(Re_D, \varepsilon/D) \cdot \frac{L}{D} + \sum K_m \right\}$$

Donde:

$$\rho_1 = \rho_2 = \text{Densidad del fluido de trabajo} = 1,03 \frac{g}{cm^3} = 1030 \frac{kg}{m^3}$$

$v$  = Velocidad del fluido. Calculado anteriormente en función del caudal de circulación y el área de la tubería. En este caso:  $v_1 = 1,0455 \frac{m}{s}$   $v_2 = 1,137 \frac{m}{s}$

$f$  = Coeficiente de fricción. Este valor se halla a partir del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería a través del diagrama de Moody.

Se considera una viscosidad de 0,0019 Pa.s y como la longitud característica el diámetro de la tuberías (28 mm y 12 mm), se obtiene el  $Re_D$ :

$$Re_{D1} = \frac{\rho \cdot v_1 \cdot D_1}{\mu} = \frac{1030.1 \cdot 0.0455 \cdot 0.028}{0.0019} = 15 \cdot 10^3$$

$$Re_{D2} = \frac{\rho \cdot v_2 \cdot D_2}{\mu} = \frac{1030.1 \cdot 0.137 \cdot 0.012}{0.0019} = 7 \cdot 10^3$$

Por otro lado, la rugosidad relativa corresponde con la división de la rugosidad del material de la que está hecha la tubería (0,0015 mm para el cobre) entre el diámetro de la misma (28 mm y 12 mm ), por lo que se obtiene un valor de 0,000053 y 0,00012 respectivamente.

Por lo tanto, de la gráfica siguiente obtenemos un valor de  $f_1$  y  $f_2$  de 0,032 y 0,035 aproximadamente.

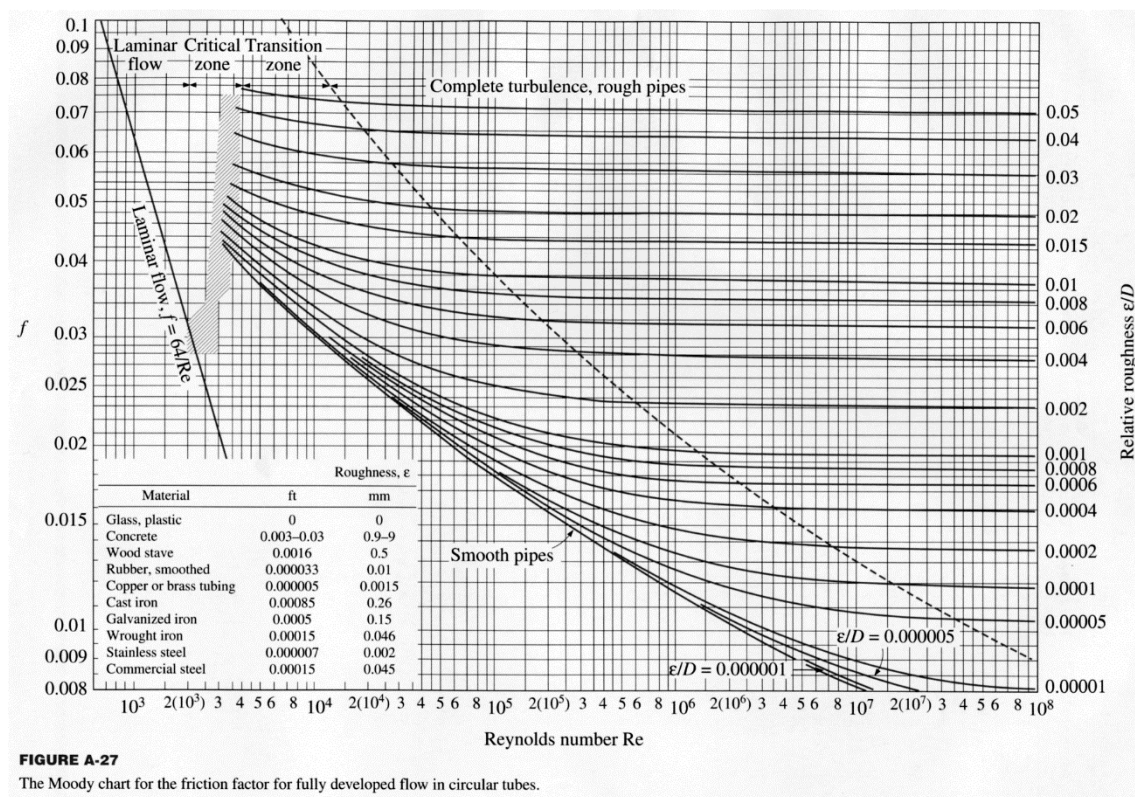


FIGURE A-27

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Ilustración 905. Diagrama de Moody [56]



$$L_1 = 180 \text{ m}$$

$$L_2 = 205 \text{ m}$$

D = diámetro de las tuberías

K = Coeficientes de pérdida debido a las singularidades.

Se tomará el valor del coeficiente K de pérdida aproximado para cada tipo de singularidad:

Valor para los codos de 90º de la instalación  $K_c = 0,75$ . En la instalación con tubería de sección tipo 1 habrá 7 codos, por lo tanto:  $K_c = 7 \cdot 0,75 = 5,25 \text{ Pa}$

Valor para las válvulas tipo esfera totalmente abiertas:  $K_v = 10$ . Se deben situarlas a la entrada y salida de la batería de colectores y del acumulador, y aislando la bomba, el vaso de expansión y el llenado primario por lo tanto habrá 8 en total:  $K_v = 8 \cdot 10 = 80 \text{ Pa}$

Valor para las intersecciones tipo T:  $K_t = 1,80$ . En el circuito hay un total de 4 por lo tanto:  $K_t = 4 \cdot 1,80 = 7,2$

Se realiza lo mismo para las tuberías de sección de 12 mm con las que se obtienen unos valores de:

$$K_c = 9 \text{ Pa}$$

$$K_v = 100 \text{ Pa}$$

$$K_t = 63 \text{ Pa}$$

Se obtiene por lo tanto:

$$P_{f1} = \frac{1}{2} \cdot 1030 \cdot 1,0455^2 \left\{ 0,032 \cdot \left( \frac{180}{0,028} \right) + 92,45 \right\} = 167845,978 \text{ Pa}$$

$$P_{f2} = 1/2 \cdot 1030 \cdot 1,137^2 \left\{ 0,035 \cdot \left( \frac{205}{0,012} \right) + 172 \right\} = 512592,0387$$

$$P_{ftotal} = 680438,0167 \text{ Pa}$$

#### Pérdida de carga en los colectores

Para calcular la pérdida de carga que habrá en el sistema de colectores se realiza utilizando la tabla que proporciona el fabricante de las placas. Se puede ver que esta carga depende directamente del flujo másico que atraviesa el captador:

$$\Delta p[\text{mm. c. a}] = 2,24 \cdot q_i^2 + 3,72 \cdot q_i$$

Dónde  $q_i = [l/min]$

Para cada rama de dos captadores en serie hay un flujo de  $116,4 \text{ l/h} = 1,94 \text{ l/min}$

$$\Delta p[\text{mm. c. a}] = 2,24 \cdot 1,94^2 + 3,72 \cdot 1,94 = 15,6472 \text{ mm. c. a} = 153.342 \text{ Pa}$$

En total para todo el conjunto de captadores habrá una pérdida de carga igual a 6133,68 Pa.

#### Pérdida de carga en el intercambiador de calor

El fluido caloportador experimentará también una variación de carga en el intercambiador de calor que se debe tener en cuenta. Para calcularla se debe atender a las gráficas aportadas por el distribuidor del intercambiador de calor:

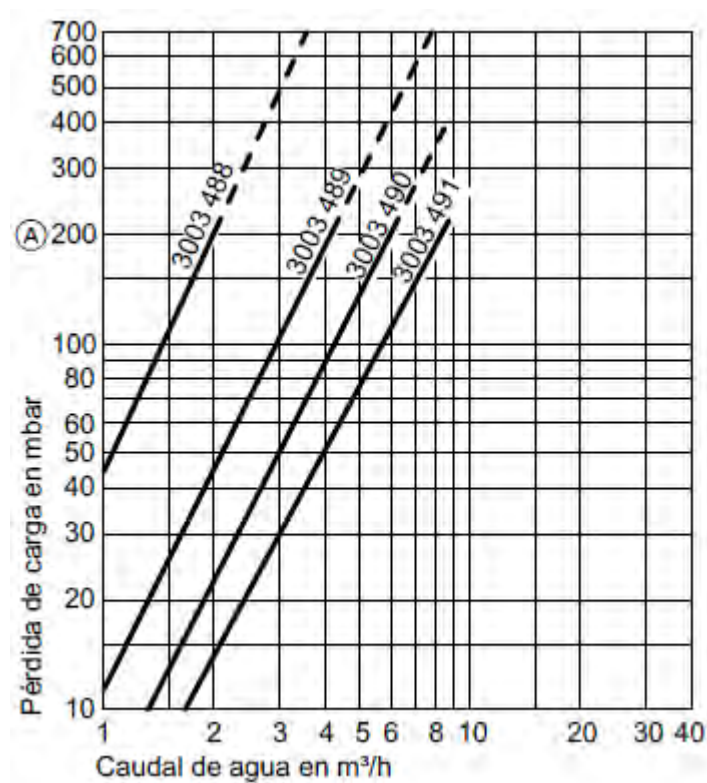


Ilustración 916. Pérdida de carga por caudal

Para el caudal de  $2,32 \text{ m}^3/\text{h}$  y la curva del modelo de intercambiador (3003 489) se observa que la pérdida de carga que se tiene es de un valor de 55mbar.

$$55 \text{ mbar} = 5500 \text{ Pa}$$

Por lo tanto la pérdida de carga total en la instalación primaria será:

Zona	Pa
Fricción en tuberías y accesorios	680438,017
Colectores	6133,68
Intercambiador de calor	5500
<b>TOTAL</b>	<b>692071,697</b>

Tabla 2210. Pérdida de carga en circuito primario

Por lo tanto la potencia necesaria de la bomba será:

$$W_{bomba} = (\Delta P_{total} \cdot Q) / \eta$$

$$W_{bomba} = \frac{692071,697.2,32}{3600.0,7} = \frac{1605606,33704}{2520} = 637,145 \text{ W}$$

Una vez teniendo este dato el modelo seleccionado de bomba para el circuito será el modelo SC 65 de la compañía Roca.

## 8. CIRCUITO SECUNDARIO



## 8 Circuito secundario

El circuito secundario constará del intercambiador de calor que producirá el intercambio energético entre circuito primario y secundario, el acumulador de inercia, una bomba impulsora, un pequeño vaso de expansión y las conducciones que conectan estos componentes.

El intercambiador de calor será compartido para circuito primario y secundario así que se comenzará explicando el sistema de acumulación.

### 8.1 Sistema de acumulación

#### Definición general

El sistema de acumulación es necesario ya que el perfil de la demanda de agua caliente difiere del perfil del calor recibido por la radiación solar. En función del tipo de aplicación el tiempo de acumulación puede ir desde horas hasta meses en el caso de acumuladores estacionales.

Al contrario que en el absorbedor del colector solar, en el que se buscaba una capacidad calorífica baja y con ello la rápida transmisión de calor al fluido de trabajo; en el acumulador, interesa una elevada inercia térmica, es decir, una capacidad calorífica alta que permita conservar el calor aportado al fluido anteriormente durante el mayor tiempo posible una vez que no se tiene suministro de calor desde los captadores.

Normalmente se utiliza agua por su alta capacidad calorífica; en los acumuladores en los que sea la de consumo final será agua potable y será agua de

calefacción en los intermedios en los que anteriormente se denominaron depósitos de inercia.

El acumulador necesitará un buen aislamiento para evitar pérdidas del calor que contiene el fluido. Además se necesita economizar la relación entre superficie (disipación al exterior) y volumen por lo que la forma geométrica perfecta para esto es la esfera. El motivo de que la esfera no sea finalmente la geometría elegida es porque también se deben tener en cuenta los efectos de la estratificación del agua que se acumula. Esta estratificación es la separación del propio agua en capas que son generadas en función de su temperatura (más caliente en zona alta, más fría en zona baja) Esta distribución es más eficiente que si se tuviera todo el volumen a una temperatura media. Es por ello, que para no irrumpir en ésta estratificación se debe hacer el aporte de agua fría por la parte inferior del acumulador así como la salida de agua caliente por la parte superior.

A continuación se cita de un extracto del CTE como deben realizarse las conexiones de entrada y salida en el acumulador:

“Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten los caminos preferentes de circulación del fluido y, además:

La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al interacumulador se realizará, preferentemente a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura del mismo. La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste. La conexión de retorno de consumo al acumulador y agua fría de red se realizarán por la parte inferior. La extracción de agua caliente del acumulador se realizará por la parte superior.” [57]

Teniendo en cuenta estas especificaciones y para aumentar la estratificación la geometría más general de los acumuladores solares es la de un cilindro en vertical. Se



deberá intentar colocar el acumulador en zonas interiores del edificio para disminuir así posibles pérdidas de calor.

El CTE indica la necesidad de disponer de un acceso al interior del acumulador para los que superen los 750 litros de volumen.

### Tipos de acumuladores

En la sección dedicada a la descripción de las instalaciones ya se mencionaban diferentes opciones en la ubicación y tamaño de los acumuladores, para las diversas configuraciones de instalaciones: centralizada y descentralizada.

A continuación se describirá la diferencia de dos tipos de acumuladores atendiendo a otros dos criterios: la aplicación en el sistema y la integración con el intercambiador.

### Clasificación según la aplicación en el sistema:

#### a) Acumulador de Agua Caliente Sanitaria:

Como su nombre indica, estos acumulan el agua de consumo. Deben cumplir con una serie de condiciones sanitarias y de higiene, así mismo deben ser resistentes a la corrosión.

Se pueden utilizar acumuladores del siguiente tipo de materiales y tratamientos:

- Acero con tratamiento interior vitrificado con protección catódica
- Acero con tratamiento interior de resinas epoxi

- No metálicos siempre que soporten la temperatura máxima del circuito y esté autorizada su utilización por las compañías de suministro de agua potable
- Acero inoxidable de buena calidad, adecuado al tipo de agua y temperatura de trabajo, como por ejemplo, con tratamiento cerámico.

Además de todo esto se debe centrar especial atención en el riesgo de aparición de legionelosis, que afecta al conjunto de la instalación, pero tiene su punto central en la temperatura del agua de consumo. Según el Real Decreto 865/2003 las instalaciones con acumuladores de agua caliente sanitaria se encuentran entre las de elevado riesgo de proliferación y dispersión de Legionella.

La Legionella es una bacteria ambiental capaz de sobrevivir en un amplio intervalo de condiciones, multiplicándose entre 20°C y 45°C y eliminándose a 70°C. Es por ello que el control de la temperatura será la medida de prevención para la aparición de la Legionella. Se deberá permitir por lo tanto que el agua alcance en la instalación los 70°C y que no descienda de 50°C en el punto más alejado.

En los casos en los que el depósito de ACS principal no alcance las temperaturas exigidas para prevenir la legionelosis, se puede instalar un depósito adicional en línea donde el calentamiento extra del agua que posteriormente se consumirá es aportado por la generación auxiliar convencional.

#### b) Acumulador de inercia:

Los acumuladores de inercia se utilizan cuando se requieren grandes volúmenes de acumulación. En estos casos se separa la acumulación de ACS con una acumulación previa en los llamados acumuladores de inercia, en los cuales no se deben cuidar tanto los requisitos de higiene, de anticorrosión y de presión ya que el

fluido no será el agua final de consumo. Existen acumuladores de inercia de distintos tipos:

- Acumuladores de inercia abiertos: Se usan materiales plásticos, resistentes a la corrosión.
- Acumuladores de inercia en ligera sobrepresión: al ser un circuito cerrado se evita la entrada de oxígeno desde el exterior reduciendo así el riesgo de la corrosión. Se usan materiales como el acero normal.
- Acumuladores combinados: Es un acumulador de inercia que en su interior lleva otro depósito al baño maría para el agua caliente sanitaria. Esto evita que haya que usar un intercambiador de calor adicional debido a la transferencia que se produce por las paredes del segundo depósito.

#### Clasificación atendiendo a la integración del intercambiador en el depósito

La transferencia de calor de un circuito a otro se produce en los intercambiadores de calor, sin embargo, éstos pueden estar situados tanto dentro como fuera del acumulador. En el caso de que el intercambiador sea externo, tal como es el presente caso, el acumulador recibe el calor de un circuito de recirculación que pasa por el intercambiador externo. Es la opción más habitual en instalaciones de gran tamaño. Dentro del tipo de acumuladores en los que el intercambio de calor se produce dentro del propio depósito se encuentran dos tipos:

##### a) De doble pared o envolvente:

Es el depósito en el que el fluido del circuito primario circula alrededor de una envolvente o camisa que rodea a un depósito con el fluido del circuito secundario. Suelen ser utilizados habitualmente en los sistemas compactos de termofisión en los cuales el interacumulador está unido al captador solar en posición horizontal.

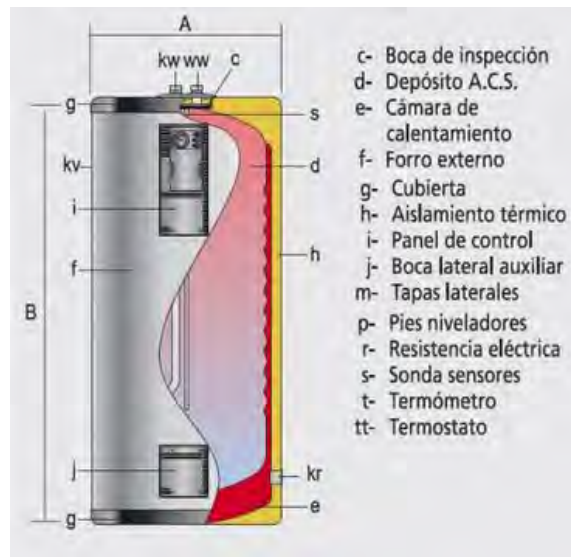


Ilustración 92. Acumulador de envoltente [58]

#### b) De serpentín:

En esta ocasión el fluido del circuito primario circula por uno o más tubos en espiral en el cual se produce la transferencia de calor al agua del acumulador.



Ilustración 93. Acumulador con serpentín [59]

El acumulador de inercia del circuito secundario será el modelo AIN 1500 (con capacidad de 1500 l) de la compañía Salvador Escoda. El resto del volumen de acumulación se dividirá en acumuladores pequeños en cada vivienda en el circuito terciario.

## 8.2 Conexionado sistema hidráulico (tuberías, fluido caloportador...)

Se vuelve a utilizar para este circuito etilenglicol al 30% (al no ser aún el circuito de consumo y no estar en contacto directamente con él). En ésta ocasión la conexión de los distintos componentes será trivial, pues se encuentran en la misma sala y con distancias relativamente cortas entre ellos.

Para la selección de diámetro de tuberías se vuelve a tener en cuenta que es un sistema indirecto, el fluido de trabajo de este circuito se mantiene independiente al de consumo.

Se utilizará de nuevo para la instalación cobre, ya que presenta unas propiedades muy adecuadas y desde el punto de vista económico será el más rentable.

Se determinará la sección mínima que deben tener las conducciones para que la pérdida de carga no exceda un límite razonable. Para ello se debe partir de la velocidad que tendrá el fluido cuando atraviese los conductos. Como se explicó anteriormente, se recomiendan velocidades máximas 2.5 m/s para el circuito secundario, siendo la velocidad mínima de 0.3 m/s.

Recurriendo a la expresión para calcular el diámetro de tuberías:

$$Q = S \cdot v = \pi \cdot r^2 \cdot v = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot v$$

Dónde:

Q = Caudal que circulará por los captadores  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

S = Superficie de la tubería  $[m^2]$

v = Velocidad del fluido que circula por la tubería  $\left[\frac{m}{s}\right]$

r = Radio de la tubería  $[m]$

d= Diámetro de la tubería  $[m]$

Se procede a despejar el diámetro de la tubería, con lo que se tiene:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

El caudal del circuito secundario para el presente caso será exactamente igual que el del circuito primario. Es por ello que no se necesita realizar todos los cálculos de nuevo, al ser el mismo tipo de fluido además. La selección del diámetro será igual que para la general del circuito primario (es decir, 28 mm y 1 mm de espesor de tuberías)



### 8.3 Bomba de impulsión

Se vuelve a recurrir a las expresiones en función de las pérdidas de cargas que permiten calcular la potencia de la bomba de impulsión para el circuito.

$$\Delta P_3 = \frac{1}{2} \cdot \rho_3 \cdot v_3^2 \left\{ f(Re_D, \varepsilon/D) \cdot \frac{L}{D} + \sum K_m \right\}$$

$$Re_{D3} = \frac{\rho \cdot v_3 \cdot D_3}{\mu} = \frac{1030.1,0455.0,028}{0,0019} = 15.10^3$$

La rugosidad relativa volverá a tener de valor 0,0015, depende el material de la tubería, que para éste circuito serán de cobre también.

Se obtiene un valor de  $f_3$  de 0,032 del diagrama de Moody y la longitud de las conducciones será de 10 metros en total.

Se toma el valor del coeficiente K de pérdida aproximado para cada tipo de singularidad:

Valor para los codos de 90° de la instalación  $K_c = 0,75$ . Habrá 2 codos por lo tanto:  $K_c = 4 \cdot 0,75 = 3 \text{ Pa}$

Valor para las válvulas tipo esfera totalmente abiertas.  $K_v = 10$ . Se deben situar a la entrada y salida de las baterías de colectores y del acumulador, y aislando la bomba, el vaso de expansión y el llenado primario. Por lo tanto habrá 8 en total:  $K_v = 8 \cdot 10 = 80 \text{ Pa}$

Valor para las intersecciones tipo T:  $K_t = 1,80$ . En el circuito secundario hay un total de 2, por lo tanto:  $K_t = 2 \cdot 1,80 = 3,6$

Se obtiene en esta ocasión:

$$P_{f3} = \frac{1}{2} \cdot 1030 \cdot 1,0455^2 \left\{ 0,032 \cdot \left( \frac{10}{0,028} \right) + 86,6 \right\} = 55183,34 \text{ Pa}$$

#### Pérdida de carga en el acumulador de inercia

El fluido caloportador experimentará una variación de carga en el acumulador de inercia que se debe tener en cuenta. De nuevo el fabricante no aporta ninguna gráfica, si no la función de la curva para su cálculo. Para un caudal de  $2,32 \text{ m}^3/\text{h}$ , el valor de pérdida de carga del acumulador de inercia será de 7800 Pa

La pérdida de carga total en la instalación secundaria será:

Zona	Pa
Fricción en tuberías y accesorios	55183,34
Acumulador	7800
<b>TOTAL</b>	<b>62983,34</b>

Tabla 23. Pérdidas de carga circuito secundario

Por lo tanto la potencia de la bomba será:

$$W_{bomba} = (\Delta P_{total} \cdot Q) / \eta$$

$$W_{bomba} = \frac{62983,34 \cdot 2,32}{3600 \cdot 0,7} = \frac{146121,35}{2520} = 57,98 \text{ W}$$

Una vez teniendo este dato el modelo seleccionado de bomba para el circuito secundario será el modelo PC 1055 de la compañía Roca, bastante inferior en potencia al necesario en el circuito primario.

### 8.4 Vaso de expansión

Se necesita un vaso de expansión para el circuito secundario al ser completamente cerrado para absorber los aumentos de volumen producidos por la elevación de la temperatura del fluido caloportador.

Cálculo del volumen dilatado:

$$C_e = 0,085$$

$$V_{dilatado} = V_{total} \cdot C_e$$

El volumen total es el contenido en acumulador, tuberías e intercambiador. El volumen del acumulador es de 3000 l y el del intercambiador de 3,32 l para el circuito secundario.

El volumen de agua de las tuberías por geometría es:

$$\text{Tubo 28 mm (longitud 10 m)} = 5,725 \text{ l}$$

$$V_{dilatado} = 3009,045 \cdot 0,085 = 255,76 \text{ l}$$

El volumen estimado para la contracción del líquido se toma un mínimo de 15 litros.

$$V_{reserva} = 15 \text{ l}$$

El volumen útil será la suma de los volúmenes calculados anteriormente:

$$V_{total} = 255,76 + 15 = 270,76 \text{ l}$$

Se ha de considerar las presiones de trabajo de la instalación, tanto la presión mínima o de llenado de la instalación como la presión máxima que puede alcanzar la instalación.

$$C_p = \left( \frac{PM}{PM - pm} \right)$$

La presión de llenado de la instalación será:

$$P_{llenado} = P_{mínima \text{ funcionamiento}} + 0,1 \cdot P_{estática}$$

La  $P_{mínima}$  tiene un valor de 3 bar.

Quedando:

$$p_m = 1 + 0,5 = 1 + 0,5 = 1,5$$

El Valor 1 es la presión atmosférica y el 0,5 un margen de seguridad aportado.

La presión máxima de funcionamiento será ligeramente menor que la presión de disparo de la válvula de seguridad (la cual será de 9 bar). Se seleccionará el menor de estos valores:

$$P_M = 0,9 \cdot P_{VS} + 1$$

$$PM = P_{vs} + 0,65$$

$$\underline{P_M = 0,9 \cdot 9 + 1 = 9,1}$$

$$PM = 9 + 0,65 = 9,65$$

Quedando:

$$C_p = \left( \frac{9,1}{9,1 - 1,5} \right) = 1,197$$

Así el volumen nominal que deberá poseer el vaso de expansión será de:

$$V_{vaso} = V_{\text{útil}} \cdot C_p = 270,76 \cdot 1,197 = 324,12l$$

Pese al volumen total del circuito secundario es mucho mayor que el del primario debido a la diferencia de presión mínima de funcionamiento, se acaba obteniendo un volumen de vaso de expansión muy cercano. Es por ello que se utilizará el mismo modelo que el vaso de expansión del circuito primario (DP/SV con capacidad de 400l de Mecalia).

# 9. SELECCIÓN COMPONENTES CIRCUITO TERCIARIO Y DE CONSUMO

## 9. Selección componentes circuito terciario y de consumo

Para terminar con la selección de componentes del presente proyecto quedaría por seleccionar los acumuladores que irán en cada vivienda como la fuente de apoyo auxiliar. Para la selección del acumulador anteriormente se seleccionó para las diferentes viviendas unas capacidades de 50, 75 y 100 L para las viviendas de 2,3 y 4 dormitorios respectivamente. Son capacidades fáciles de encontrar en el mercado y el modelo de los acumuladores elegidos son los siguientes:

- Viviendas 2 dormitorios: Fagor IFF 50 M
- Viviendas 3 dormitorios: Fagor IFF 75 M
- Viviendas 4 dormitorios: Fagor IFF 100M

Para el cálculo de la caldera para el aporte de energía auxiliar necesaria se necesita saber el posible consumo máximo por segundo. Se debe tener en cuenta el número de aparatos consumidores de ACS así como su posible utilización simultánea. A la hora de dimensionar la caldera, se sobredimensionará en el peor de los casos en el que no se tenga ningún tipo de aporte de energía solar en el sistema. Se calcula el aporte de energía necesario total en el edificio, aunque posteriormente se dividirá por vivienda, ya que cada una poseerá su propio aporte auxiliar de energía.

Las viviendas de 2 y 3 dormitorios poseían 1 cocina y 1 baño; así como las de 4 dormitorios poseían 1 cocina, 1 baño y 1 aseo.



Viviendas 2 y 3 dormitorios	
	Caudal (l/s)
Fregadero	0,1
Lavadora	0,15
Lavavajillas	0,1
Total Cocina	0,35
Bañera	0,2
Lavabo	0,065
Bidé	0,06
Total Baño	0,33
TOTAL	0,68 l/s

Tabla 2411. Caudales viviendas 2 y 3 dormitorios

Viviendas 4 dormitorios	
	Caudal (l/s)
Fregadero	0,1
Lavadora	0,15
Lavavajillas	0,1
Total Cocina	0,35
Bañera	0,2
Lavabo	0,065
Bidé	0,06
Total Baño	0,33
Ducha	0,1
Lavabo	0,065
Total Aseo	0,165
TOTAL	0,845

Tabla 25. Caudales viviendas 4 dormitorios



Se tienen 25 viviendas del primer caso que harán un consumo total de 17 l/s y 30 del segundo caso que harán un consumo de 25,35 l/s. En total 42,35 l/s.

Para el cálculo del caudal simultáneo se necesitan unos coeficientes obtenidos de la siguiente tabla [60]:

Tipo de edificio	Caudales		Coeficientes		
	Qu	Qt	A	B	C
Viviendas	< 0,5	≤ 20	0,682	0,450	-0,140
	≥ 0,5	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	≥ 0,5	≤ 20	1,700	0,210	-0,700
	Sin límite	≥ 20	1,700	0,210	-0,700

Tabla 26. Coeficientes para caudales vivienda

Para el presente caso: A = 1,7 B = 0,21 C = -0,7

Con lo que se obtiene:

$$Q_c \left( \frac{l}{s} \right) = 1,7 \cdot 42,35^{0,21} - 0,7 = 3,033 \text{ l/s}$$

Con esto se puede obtener la potencia máxima necesaria total. Para ello se aplica la siguiente ecuación:

$$P(W) = Q \left( \frac{l}{s} \right) \cdot 3600 \left( \frac{s}{h} \right) \cdot (T_{consumo} - T_{red})(^{\circ}C) \cdot 1,16 \left( \frac{W \cdot h}{l \cdot ^{\circ}C} \right)$$

Para la temperatura de la red se toma el caso más desfavorable, como se pudo ver de la tabla 7 del capítulo 5.1 es para el mes de Diciembre 4,5 °C.



Con ello se obtiene que la potencia necesaria es de 703,012 KW. Entre el número de viviendas total se necesitará por vivienda 12 KW de potencia de caldera.

Se selecciona la caldera CGB 20 de la compañía Wolf, cuyas características pueden verse en los anexos y cuya potencia nominal es de 20 kW por encima de la obtenida en los cálculos.

No se hace distinción a la hora de la potencia necesaria para unas viviendas de más o menos ocupantes. Pese a que el consumo a lo largo del día será mayor, lo cual ha sido tenido en cuenta a la hora de dimensionar el acumulador, el consumo máximo en un momento dado no debería porque ser mucho mayor en el caso de las viviendas con 4 ocupantes que poseen, a parte de las características comunes, un aseo.

# 10. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL

## 10. Estudio medioambiental

Ya se ha hablado en anteriores apartados sobre como determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por el calentamiento de la radiación solar; que se denomina efecto invernadero, y de cómo el cual está viéndose acentuado por la emisión de ciertos gases.

Se va a realizar un pequeño estudio en el que se vea la cantidad de CO<sub>2</sub> ahorrado por la utilización de este tipo de sistema de ACS en vez de uno convencional. Primeramente se necesita saber la cantidad de energía térmica proporcionada por el sistema solar para así conocer cuánto disminuirá el consumo de combustible, y, de esta manera la emisión de CO<sub>2</sub> producida:

Instalación convencional	kWh/año
QACS	155967,4

Instalación solar	kWh/año
QSOLAR	97464,65
QAUXILIAR	58502,75

Tabla 27. Energía térmica proporcionada

Como se puede ver en las tablas anteriores la reducción conseguida por implementar un sistema de aportación solar al calentamiento del ACS es de 97464,65 kWh/año; lo que es un 62% del total de la energía total necesaria para la demanda del edificio. El resto de la energía es aportada por el sistema auxiliar que está constituido por elementos de un sistema convencional, por lo que se seguirá produciendo una cierta cantidad de CO<sub>2</sub>.

De las tablas del IDEA se puede obtener la relación entre la energía y la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida, a continuación se muestra las dos tablas según tipo de energía:

Energía suministrada (térmica)	Emisiones de CO <sub>2</sub> gr CO <sub>2</sub> /kWh
Gas natural	204
Gasóleo C	287
GLP	244
Carbón uso doméstico	247
Biomasa	Neutro
Biocarburantes	Neutro
Solar térmica baja temperatura	0

Tabla 13. Emisión de CO<sub>2</sub> según energía suministrada térmica [61]

Energía suministrada (eléctrica)	Emisiones de CO <sub>2</sub> gr CO <sub>2</sub> /kWh
Electricidad convencional peninsular	649
Electricidad convencional extra-peninsular (Baleares, Canarias, Ceuta y Melilla)	981
Solar Fotovoltaica	0
Electricidad convencional horas valle nocturnas, para sistemas de acumulación eléctrica peninsular	517
Electricidad convencional horas valle nocturnas, para sistemas de acumulación eléctrica extra-peninsular	981

Tabla 12. Tabla emisión de CO<sub>2</sub> según energía suministrada eléctrica [62]

Se puede ver que por cada kwh de gas natural se produce una emisión de 0,204 kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por lo que la comparativa entre una instalación convencional en el presente edificio y de la que actualmente se instala queda de la siguiente manera:

Instalación convencional	Kg CO <sub>2</sub> /año
ACS	31505,42

Tabla 14. Contaminación instalación convencional

Instalación solar	Kg CO <sub>2</sub> /año
Solar	0
Auxiliar	11817,56

Tabla 31. Contaminación instalación solar

Aún con esto, se puede ver de la segunda tabla anterior que la necesidad de la energía eléctrica presenta una cierta emisión de gases a la atmósfera por lo que se tendrá también en cuenta en la instalación. Según la tabla del IDEA el valor de esta emisión es de 0,649 kg por kWh.

Se debe considerar el tiempo de trabajo de los componentes con el de funcionamiento de la instalación, que no será otro que el de las horas de sol que haya al año (2900 para esta comunidad autónoma). Para la instalación del presente proyecto la necesidad eléctrica vendrá por el funcionamiento de las bombas de circulación, cuyos consumos para la bomba SC 65 y PC1055 son de 870 W y 110 W respectivamente. Hay otros componentes en la instalación que requerirán de una aportación de energía eléctrica pero los valores de consumo de potencia son mínimos en comparación con los anteriores comentados, como puede ser por ejemplo el controlador cuya potencia es únicamente de 8W. Con estos datos se obtiene el total de emisiones por estos componentes al año:

PBombas (KW)	Eeléctrica (kWh/año)	Kg CO <sub>2</sub> /año
<b>0,98</b>	2842	1844,46

Tabla 15. Contaminación uso de bombas

Se observa la diferencia entre las emisiones de un sistema convencional para el edificio y el montado con energía térmica solar:

INSTALACIÓN	EMISIÓN (kg CO <sub>2</sub> /AÑO)
Convencional	31505,42
Solar	13662,02
Reducción	<b>17843,4</b>

Tabla 16. Diferencias contaminación convencional - solar

Se evita de ésta manera emitir a la atmósfera 17843,4 kg de dióxido de carbono por año por el hecho de utilizar este tipo de instalación de energía renovable; esto supone una reducción de un 57 % de este tipo de emisiones, lo cual es una cifra nada desdeñable.

# 11. ESTUDIO ECONÓMICO



## 11. ESTUDIO ECONÓMICO

Se comenzará cuantificando el coste total de la instalación, en el que se tiene en cuenta tanto precio de los equipos como los accesorios necesarios, el coste de ingeniería y de la mano de obra.

Para el cálculo del coste de la estructura, se aproximará al costo del volumen de la materia prima necesaria. Para ello se conoce el precio del material (acero S275 tanto para la correa como para el marco) de 1,22 €/Kg proporcionado por la empresa Trafiltubi SRL. La densidad del material es de  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

La estructura está compuesta de 3 elementos diferentes: 2 correas con perfil 50x30x4 y longitud 1,26 m, 2 elementos verticales de perfil 70x50x4 y longitud 1,19 y dos elementos inclinados de 70x50x4 también y longitud 2,82 m.

Comenzando por la correa, se calcula primeramente su volumen:

$$A = 50 \times 30 - [(50-8) \times (30-8)] = 576 \text{ mm}^2$$

$$V = 576 \text{ mm}^2 \times 1260 \text{ mm} = 725760 \text{ mm}^3 = 0,000725760 \text{ m}^3$$

Para el peso de la correa se tiene:

$$0,000725760 \text{ m}^3 \times 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5,69 \text{ kg}$$

Por lo tanto el precio de cada correa individual queda:

$$5,69 \text{ kg} \times 1,22 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 6,95 \text{ €}$$

En total se tienen 40 estructuras de captador, por lo que un total de 80 correas iguales, lo que suma un total de 556 €.

Realizando lo mismo para el resto de perfiles quedan para el perfil inclinado y vertical respectivamente 1935,87 € y 816,91 €. La suma total de las 40 estructuras asciende a 3308,78 €.

A continuación se detalla el presupuesto completo en la siguiente tabla:

PRESUPUESTO					
Equipo	Fabricante	Modelo	Precio unitario (€)	Unidades	Precio (€)
Panel Solar	Fagor	Solaria 2.1 Al S8	1103,93	40	44157,2
Intercambiador de calor	Viessman	Vitotrans 100 (config 3003495)	2197	1	2197
Vasos de expansión	Mecalia	DP/VSV 400	569	2	1138
Bomba impulsión	Roca	SC 65	996	1	996
Bomba impulsión secundario	Roca	PC 1055	247	1	247
Acumulador de inercia	Salvador Escoda	AIN 1500	1437	1	1437
Acumulador viviendas 2 dormitorios	Fagor	IFF 50 M	226	15	3390
Acumulador viviendas 3 dormitorios	Fagor	IFF 75 M	307	10	3070

<b>Acumulador</b>	Fagor	IFF 100 M	351	30	10530
<b>viviendas</b>	<b>4</b>				
<b>dormitorios</b>					
<b>Calderas</b>	Wolf	CGB 20	1055	55	58025
<b>auxiliares</b>					
<b>Tuberías</b>	García Ruiz	28X1 mm	7,02 €/m	180 m	1263,6
	S.A	12 x 1 mm	2,88 €/m	205 m	590,4
<b>Anticongelante</b>	Oscsolar	Propilenglicol	7 €/l	966	5797,44
		100			
<b>Sistema de</b>	Ultisolar	SR988C1	235,03	1	235,03
<b>control</b>					
<b>Estructura</b>	Trafiltubi SRL	Acero S275	1,22 €/kg	2308 kg	3308,78
<b>captador solar</b>					
<b>Resto de</b>	-	-	-	-	3016,27
<b>accesorios</b>					
<b>(válvulas,</b>					
<b>Diseño y mano</b>					5785,60
<b>de obra</b>					
<b>TOTAL</b>					<b>145184,32 €</b>

Tabla 17. Presupuesto instalación

El Valor del presupuesto inicial de la implantación asciende a un total de 145184,32 €. Por otro lado, se debe tener en cuenta los costes de explotación de la instalación, que corresponden al mantenimiento y a la energía eléctrica adicional, debido a la utilización de las bombas de impulsión.

Para los costes de mantenimiento, se ha acordado con la empresa instaladora una cuota bianual del 0,5% respecto a esta inversión inicial. Esta cuota cubre tareas de mantenimiento tanto preventivo como correctivo y el suministro y reposición del líquido anticongelante necesario de aquí en adelante.

Como se había calculado anteriormente el consumo eléctrico de las bombas de impulsión en la instalación es de 2842 Kwh/año lo que corresponde a una suma de 271,62 €/año para este consumo con un precio de termino de energía de 0,09557 €/kWh.

Para la tarifa del Gas Natural que se estaría ahorrando se debe tener en cuenta únicamente la potencia que ahorra la energía solar (pues el resto del apoyo auxiliar se sigue realizando con Gas Natural). Ya se vió en el apartado anterior del estudio Medioambiental que la reducción de energía era de 97464,65 kWh/año. Con una tarifa de gas natural de 0,05283625 €/kWh el ahorro anual quedaría de 5688,28 €.

El valor de todos los costes y ahorros procedentes del consumo de gas natural, electricidad y mantenimiento serán considerados con un incremento anual del IPC del 1,52% (promedio del valor del IPC los últimos 5 años).

### 11.1 Subvención

Actualmente no hay ningún plan vigente para la ayuda de este tipo de instalación de energía renovable en la Comunidad de Madrid. La cuantía de los incentivos del Plan para el Impulso a las Energías Renovables de 2012 en la Comunidad de Madrid era la siguiente:

- a. Solar térmica de baja temperatura:
  - Aplicaciones de refrigeración: 350 €/m<sup>2</sup> de superficie útil de captación.
  - Resto de aplicaciones:
    - Instalaciones con captadores solares planos en sectores no industriales: 225 €/m<sup>2</sup> de superficie útil de captación.

- Instalaciones con captadores solares planos en el sector industrial e instalaciones con tubos de vacío: 250 €/m<sup>2</sup> de superficie útil de captación. [63]

Con esto quiere decir que para la instalación del presente proyecto se hubiera podido conseguir una subvención de 23220 €, la cual hubiera constituido casi el 20 % de la inversión inicial. Actualmente, este tipo de instalaciones es de obligado cumplimiento en los edificios de nueva construcción para todo el territorio nacional y no es una opción que premiar a la hora de realizar este tipo de proyecto; por lo que no se podrá disponer de ninguna ayuda que lo haga más rentable.

### 11.2 Valor Actual Neto

A través de este procedimiento se puede conocer el valor presente de un determinado número de flujos de cajas futuros, originados por una inversión. El método radica en descontar al momento actual todo los flujos de caja ("cash-flows"). Dicha tasa de actualización es el resultado del producto entre el coste medio ponderado de capital y la tasa de inflación del periodo, para este caso se coge la de la media de los últimos 5 años en España que tiene un valor del 1,75%. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, es decir el resultado es positivo, es recomendable que el proyecto sea aceptado económicamente hablando.

Suponiendo una inversión con un cash-flow inicial DI (inversión inicial) y que genera un cash-flow (CF), el VAN se obtiene con la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - DI$$

De esta manera se puede conocer el número de años para que la inversión produzca "ganancias" por encima de la rentabilidad exigida. Si el valor es mayor que 0, el proyecto es rentable, considerándose el valor mínimo de rendimiento para la

inversión. La instalación tiene una vida útil aproximada de 25 años, por lo tanto será en este periodo donde el VAN debe dejar de ser negativo.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución del VAN de la instalación anualmente.

AÑO	1	2	3	4	5
Ahorro Gas Natural	5688,28	5745,163	5802,614	5860,641	5919,247
Gasto Electricidad	-271,62	-271,892	-272,164	-272,436	-272,708
Gasto Mantenimiento	0	733,1792	0	747,9161	0
CF	5416,66	6206,45	5530,451	6336,121	5646,539
CF acumulado	5416,66	11623,11	17153,56	23489,68	29136,22
<b>VAN</b>	<b>-139773</b>	<b>-133573</b>	<b>-128048</b>	<b>-121718</b>	<b>-116077</b>

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>5978,439</b>	6038,224	6098,606	6159,592	6221,188	6283,4	6346,234	6409,696	6473,793	6538,531	6603,916
<b>-272,981</b>	-273,254	-273,527	-273,801	-274,074	-274,348	-274,623	-274,897	-275,172	-275,447	-275,723
<b>762,9492</b>	0	778,2845	0	793,28	0	809,886	0	826,1647	0	842,7706
<b>6468,408</b>	5764,97	6603,364	5885,792	6740,394	6009,051	6881,497	6134,799	7024,786	6263,084	7170,964
<b>35604,63</b>	41369,6	47972,96	53858,75	60599,15	66608,2	73489,7	79624,5	86649,28	92912,36	100083,3
<b>-109615</b>	<b>-103856</b>	<b>-97259,3</b>	<b>-91379,4</b>	<b>-84645,7</b>	<b>-78642,7</b>	<b>-71768</b>	<b>-65639,4</b>	<b>-58621,6</b>	<b>-52364,8</b>	<b>-45201</b>

17	18	19	20	21	22	23	24	25
<b>6669,95</b>	6736,65	6804,02	6872,06	6940,78	7010,19	7080,29	7151,09	7222,60
<b>6</b>	5	2	2	3		2	5	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>275,999</b>	276,275	276,551	276,827	277,104	277,381	277,659	277,936	278,214
<b>0</b>	859,710	0	876,990	0	894,618	0	912,599	0
<b>6393,95</b>	7320,09	6527,47	7472,22	6663,67	7627,42	6802,63	7785,75	6944,39
<b>7</b>	1	1	5	8	7	4	9	2
<b>106477,3</b>	113797,4	120324,8	127797,1	134460,8	142088,2	148890,8	156676,6	163621,3
<b>-38813</b>	<b>-31500</b>	<b>-24979</b>	<b>-17514</b>	<b>-10857</b>	<b>-3238</b>	<b>3557</b>	<b>11335</b>	<b>18273</b>

Tabla 18. Cálculo VAN



En consecuencia, se puede observar que el VAN es positivo a partir del vigésimo tercer año por lo que el periodo de amortización es menor que la vida media de la instalación y, por lo tanto, se puede decir que el uso de la instalación solar como fuente de energía para la producción de agua corriente sanitaria es viable para la localización y especificaciones del edificio y de la instalación. No obstante, se debe tener en cuenta que la presente instalación cumple con los mínimos obligados de aporte solar para agua caliente sanitaria, por lo que no se está realizando un estudio de reforma para realizar un ahorro económico a la comunidad; si el VAN hubiera sido negativo se hubiera seguido adelante con el proyecto de obra debido a la necesidad de la instalación.

## 12. CONCLUSIONES



## 12. Conclusiones

En el presente proyecto se ha conseguido llegar a lograr los objetivos marcados en el comienzo. Tras la descripción del edificio y su situación se continuó con el cálculo de la demanda que necesitaría el edificio para poder así, aplicando el método f-chart, calcular el número de captadores que serían necesarios en el sistema.

Seguidamente se realizó el cálculo de las estructuras para los captadores, lo cual era otro punto importante marcado en los objetivos al inicio del estudio. El método de cálculo fue totalmente manual sin recurrir a ningún tipo de software de cálculo para este tipo de estructuras. También fueron seleccionados el resto de componentes de la instalación solar, atendiendo a los datos proporcionados por fabricantes, instituciones y otros entes públicos; llegando a la consecución del proyecto con las siguientes conclusiones:

**Viabilidad energética:** Se ha alcanzado que la instalación cumpla con los requisitos mínimos legales para una nueva vivienda, referente al aporte de energía solar. El valor mínimo fijado era de un 60% de aporte de energía solar con un rendimiento mínimo de los captadores del 40%. Los valores obtenidos son de un 62,8% de energía solar aportada anualmente al sistema (sin sobrepasar los límites marcados del 110% para ningún mes y no más del 100% para más de 3 meses) y de un 50,8% para el rendimiento de los captadores.

**Viabilidad económica:** Se ha realizado un estudio en el que se observa el coste total de esta instalación así como el ahorro producido frente a una instalación convencional. Se echa en falta en estos momentos algo más de apoyo institucional para conseguir una mayor facilidad a la hora de implementar estos sistemas y conseguir mejoras en el uso de energías limpias.



Viabilidad medioambiental: Se ha observado como las emisiones de gases de efecto invernadero son reducidas considerablemente conllevando a una mejora de la consecución de los objetivos impuestos en el Protocolo de Kyoto para nuestro País.

No son pocas las ventajas que han sido citadas pero aún se puede percibir que las instalaciones solares térmicas no están del todo preparadas para sustituir por completo en el mercado el uso de instalaciones convencionales como las calderas, debido sobre todo a la dependencia de este tipo de sistemas a las condiciones meteorológicas. Hoy en día es obvia la necesidad de luchar por encontrar una reducción de deterioro del medioambiente, lo cual aún está lejos de convertirse en una búsqueda de mejora del medioambiente; y viendo el notable beneficio que ofrecen este tipo de uso de instalaciones es cada vez más necesario un contexto legal que ayude a este sector con normativas que premien a el uso de estas tecnologías y graven económicamente a sistemas más contaminantes.

## 13. REFERENCIAS



### 13. Referencias y Bibliografía

- <http://unfccc.int/> (United Framework Convention on Climate Change) [1] [3]
- PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÉTICO, ARTÍCULO 3 [2]
- WWF (Fondo mundial para la naturaleza) [4]
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente. Inventario de Gases de Efecto Invernadero en España 1990-2013 (Madrid, Enero 2015) [5]
- Caballero, R. (2010) La energía solar térmica en la edificación. [6]
- IDAE [7]
- ISO FOTÓN [8] [48] [49]
- Termicol [9] [10] [11] [12]
- CTE HE , 3.3 Criterios generales de cálculo [13]
- CTE HE , 2 Caracterización y cuantificación de las exigencias [14] [19] [25] [27] [28]
- CTE HE , 3 Cálculo y dimensionado [15] [16]
- CTE HE , 4 Cálculo Tabla 4.3 [17]
- CENSOLAR [18]
- EUMETSAT [20] [21]
- IDEA [22] [61] [62]
- BECKMAN, W., KLEIN, S. Y DUFFIE, J., (1977). Solar heating design: by the f-chart method. John Wiley & Sons Inc. [23]
- CTE HE 4, 2.2.2 Protección contra sobrecalentamiento [24]
- Solarweb.net [26] [46]
- [fagor.com/es/solar/solar\\_termica](http://fagor.com/es/solar/solar_termica) [29] [30]
- DB SE-AE Anejo D.1 [31]
- DB SE-AE Anejo D.2 [32]
- Eurocódigo 1-4, Art. 7.4.3 “Cartel de señalización” [33]



- Tabla 4.2 DB SE [34]
- DB SE Art. 4.2.2 (1) [35]
- Apuntes de la asignatura TECI [36] [37] [38]
- DB SE-A, Art. 5.2.4. [39]
- DB SE-A ( 8.8 ALGUNAS UNIONES BASICAS) [40]
- [http://www.spit.es/pdfareatecnica/guia\\_tecnica\\_de\\_fijacion.pdf](http://www.spit.es/pdfareatecnica/guia_tecnica_de_fijacion.pdf) [41]  
[42] [43] [44] [45]
- Schott [47]
- Cleanenergysolar.com [51] [52] [53] [54]
- Norma UNE-EN 1057:2007+A1:2010 [55]
- Apuntes de la asignatura Transferencia de Calor [56]
- CTE HE 3.3.3.2 Situación de las conexiones [57]
- <http://www.lapesa.es/es/agua-caliente-sanitaria/geiser-inox.html> [58]
- Sumiseran S.L Suministros y Servicios [59]
- Plan de Impulso De las energías renovables comunidad de Madrid  
(2012) [63]
- UNE 149.201/07 [63]

## 14. Anejos

## captadores solares

Los captadores solares son los encargados de captar la radiación solar para el posterior aprovechamiento de energía, siendo sus características técnicas muy importantes para determinar el rendimiento de la instalación.

Componentes principales

Tabla características solar aluminio

Tabla características solar galvanizado



ampliación virtual

descargar imagen



Funcionamiento sencillo y eficaz.

**Calentamiento "efecto invernadero".**

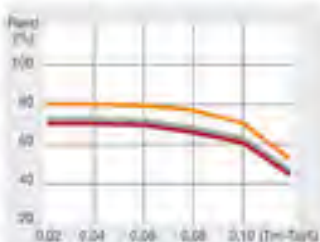
El captador solar consiste en un caja cerrada herméticamente, que en su parte superior cuenta con un vidrio a través del cual traspasa la energía solar y es retenida en el interior. El aislante interior permite retener con mayor eficacia ese calor para calentar el fluido caloportador, alcanzando entre 70 y 80°C.



El tamaño sí que importa.

**2 acabados y 3 medidas para elegir.**

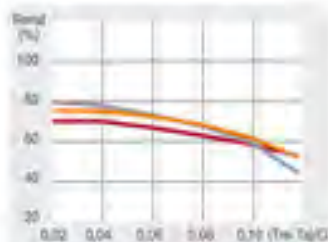
Fagor tiene dos tipos de acabados en tres dimensiones diferentes de captadores solares adaptables a cualquier tipo de instalación. Cada una de ellas tiene su propia superficie de captación y, por lo tanto, más o menos poder de absorción de la energía solar.



SOLARIA 2.1 AL S8  
SOLARIA 2.4 AL S8  
SOLARIA 2.8 AL S8

**Curva de rendimiento instantáneo Serie AL.**

Mod. SOLARIA-2.1 AL,  
SOLARIA-2.4 AL,  
SOLARIA-2.8 AL.



SOLARIA 2.1 G S8  
SOLARIA 2.4 G S8  
SOLARIA 2.8 G S8

**Curva de rendimiento instantáneo Serie G.**

Mod. SOLARIA-2.1 G S8,  
SOLARIA-2.4 G S8,  
SOLARIA-2.8 G S8.



Tabla características solaría aluminio



SOLARIA-2.1 AL S8  
SOLARIA-2.4 AL S8  
SOLARIA-2.8 AL S8

**8**  
años  
garantía

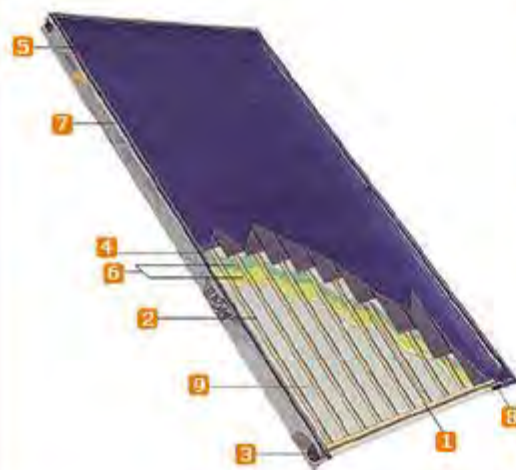
Certificado  
 Ficha Resumen

	captadores solares planos: ALUMINIO		
	SOLARIA-2.1 AL 58	SOLARIA-2.4 AL 50	SOLARIA-2.8 AL 50
DIMENSIONES			
Largo total (mm)	1.900	2.200	2.200
Ancho total (mm)	1.090	1.090	1.260
Fondo (mm)	90	90	90
Área total (m <sup>2</sup> )	2,06	2,40	2,77
Área de apertura (m <sup>2</sup> )	1,87	2,17	2,58
Área del absorbedor (m <sup>2</sup> )	1,77	2,14	2,46
Peso en vacío (kg)	38	43	50
Capacidad de fluido (l)	1,18	1,26	1,70
Fluido caloportador	agua o agua glicolada	agua o agua glicolada	agua o agua glicolada
Temperatura de estancamiento (°C)	197,0	197,0	197,0
Flexión máxima (Pa)	1.000	1.000	1.000
PRESIONES DE PRUEBA Y CAUDAL RECOMENDADO			
Presión de timbre (bar)	14,0	14,0	14,0
Presión máxima de trabajo (bar)	8,0	8,0	8,0
Presión mínima en captador (bar)	1,5	1,5	1,5
Caudal recomendado (l/h · m <sup>2</sup> )	45,0	45,0	45,0
Caída de presión en línea (mm.c.a.) (q <sub>l</sub> =l/min)	1,93 · q <sub>l</sub> <sup>2</sup> + 6,52 · q <sub>l</sub> 1,85 · q <sub>l</sub> <sup>2</sup> + 7,32 · q <sub>l</sub> 2,24 · q <sub>l</sub> <sup>2</sup> + 3,72 · q <sub>l</sub>		
CALIDADES DE FABRICACIÓN			
Cubierta transparente	vidrio templado de 3,20 mm de espesor. Coef. Trans. 0,91		
Carcasa	aluminio anodizado AL-6063 T5 (espesor = 1,50 mm) aletas de cobre (0,5 mm) soldadas por ultrasonidos a parrilla de cobre		
Absorbedor	proyección de electrodeposición de Cromo Negro sobre base de Niquel Claro		
Tratamiento selectivo	colector principal 22 mm / colector secundario 8 mm		
Relación en parrilla	poliuretano rígido inyectado (25 mm) + lam. Aluminio + lana mineral (25 mm)		
Aislamiento térmico	propileno moldeado y burilete de EPDM		
Acabado posterior y sellado	B.S.P. hembra de 3/4"		
Conexiones (4 uds)			
CURVAS DE RENDIMIENTO INSTANTANEO Y REGISTRO			
Rendimiento óptico η <sub>p</sub>	72,96 %	72,96 %	80,80 %
K1	2,51 W/(m <sup>2</sup> ·K)	2,51 W/(m <sup>2</sup> ·K)	3,20 W/(m <sup>2</sup> ·K)
K2	0,038 W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>2</sup> )	0,038 W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>2</sup> )	0,010 W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>2</sup> )
Contraseña de homologación	NPS-26507	NPS-26307	NPS-26407





## Captadores solares

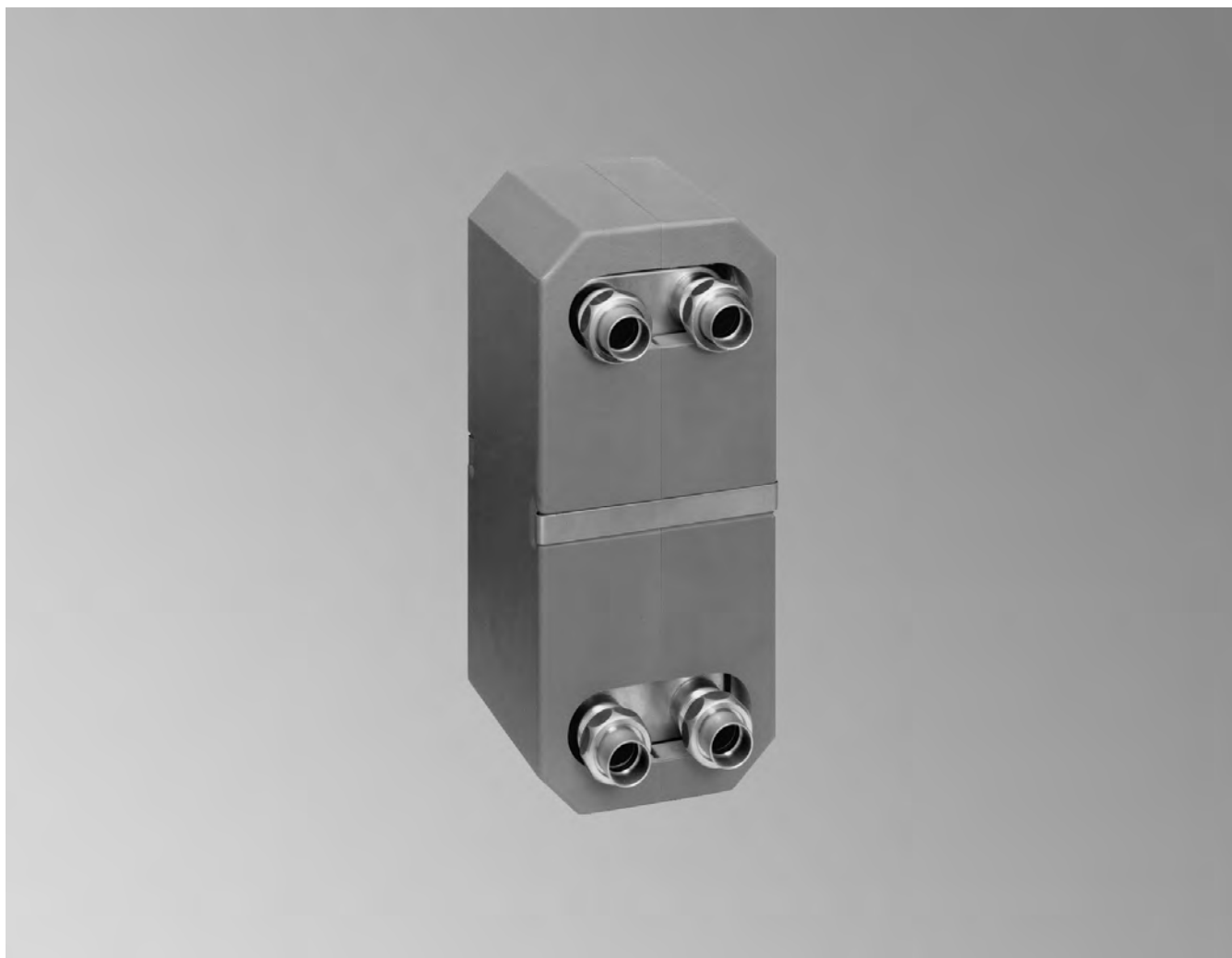


## Componentes principales

- 1\_ Superficie de absorción a base de Cromo Negro sobre base de Níquel Claro en modelos AL o Pintura Solar Selectiva en modelos G y aletas soldadas ultrasónicamente a la parrilla de cobre.
- 2\_ Red de conductos de cobre.
- 3\_ Conexión a tubería, BSP hembra en bronce.
- 4\_ Hoja de aluminio reflectante.
- 5\_ Vidrio solar.
- 6\_ Aislante:  
GAMA AL: Espuma de poliuretano de 30 mm y fibra de vidrio de 30 mm + lámina AL.  
GAMA G: Espuma de poliuretano de 50 mm + lámina AL.
- 7\_ Caja de aluminio anodizado (series AL) o acero galvanizado tratado epoxidicamente (series G).
- 8\_ Sellado con junta E.P.D.M. adaptable a las dilataciones.
- 9\_ Lámina dorsal en polipropileno moldeado.

## Datos técnicos

Nº de pedido y precios: consultar Lista de precios



### **VITOTRANS 100**    Modelo PWT

Para estaciones de transferencia en redes de suministro de calor y para la separación del sistema en instalaciones de calefacción con circuito de calefacción por suelo radiante, para la producción de A.C.S. y para instalaciones de energía solar  
Temperatura en el circuito primario **hasta 130 °C o 200 °C**  
Placas del intercambiador de calor y conexiones de **acero inoxidable de alta aleación (1.4401)**  
**Con aislamiento térmico**

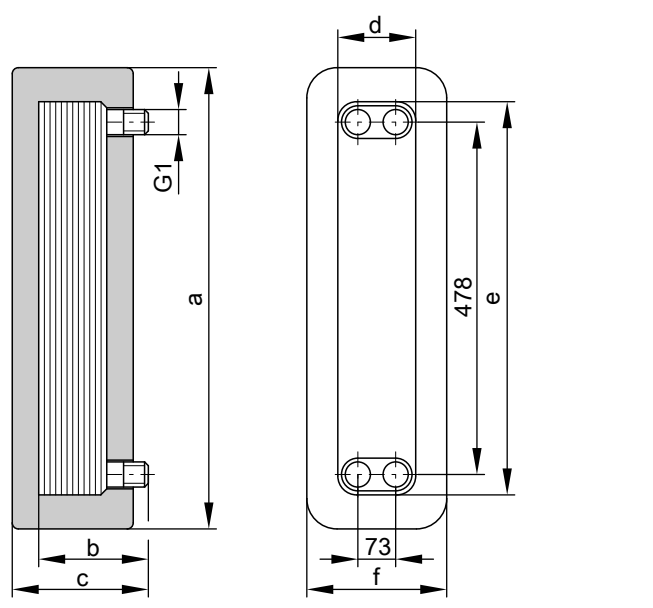
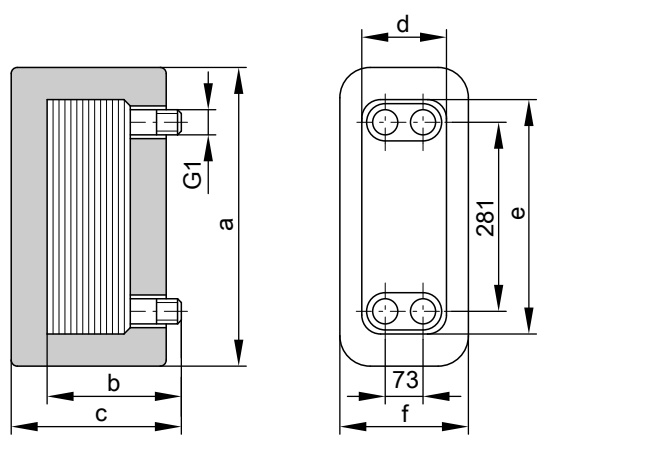
## Datos técnicos N° de pedido 3003 488 a 3003 495

### Datos técnicos

Vitotrans 100	N° de pedido	3003 488	3003 489	3003 490	3003 491	3003 492	3003 493	3003 494	3003 495
<b>Dimensiones sin aislamiento térmico y uniones roscadas</b>									
Longitud b	mm	80	128	176	224	76	108	145	191
Anchura d	mm	123	123	123	123	118	118	118	118
Altura e	mm	332	332	332	332	523	523	523	523
<b>Dimensiones con aislamiento térmico</b>									
Longitud total c	mm	128	174	218	270	148	182	230	325
Anchura total f	mm	172	172	172	172	178	178	178	178
Altura total	mm	400	400	400	400	600	600	600	600
<b>Peso</b>	kg	4,0	6,4	8,8	11,2	6,8	10,1	14,0	18,8
Intercambiador de calor con aislamiento térmico									
<b>Capacidad</b>	litros	0,54/0,60	1,14/1,20	1,74/1,80	2,34/2,40	0,85/0,95	1,52/1,62	2,28/2,37	3,22/3,32
primaria/secundaria									
<b>Presión máx. de servicio admisible</b>	bar	30	30	30	30	30	30	30	30
primaria/secundaria									
<b>Temp. de servicio adm.</b>	°C	200	200	200	200	200	200	200	200
primaria/secundaria									
<b>Conexiones</b>	G	1	1	1	1	1	1	1	1
primaria/secundaria									

N° de pedido 3003 488 a 3003 491

N° de pedido 3003 492 a 3003 495



### Potencia térmica con distintos saltos térmicos en los circuitos primario y secundario

Vitotrans 100	N° de pedido	3003 488	3003 489	3003 490	3003 491	3003 492	3003 493	3003 494	3003 495
prim. 130/ 75°C	kW	46 <sup>*2</sup>	93 <sup>*2</sup>	140 <sup>*2</sup>	162 <sup>*2</sup>	—	—	—	—
sec. 70/ 90°C									
prim. 130/ 70°C	kW	46 <sup>*2</sup>	93 <sup>*2</sup>	140 <sup>*2</sup>	162 <sup>*2</sup>	—	—	—	—
sec. 68/ 88°C									
prim. 130/ 70°C	kW	67	135	200	240	—	—	—	—
sec. 65/ 95°C									
prim. 130/ 65°C	kW	69	140	210	240	—	—	—	—
sec. 60/ 90°C									
prim. 130/ 63°C	kW	45	85	135	175	63 <sup>*2</sup>	105 <sup>*2</sup>	162 <sup>*2</sup>	225 <sup>*2</sup>
sec. 60/ 90°C									

<sup>\*2</sup> Las potencias están limitadas por la pérdida de carga.

## Datos técnicos N° de pedido 3003 488 a 3003 495 (continuación)

Vitotrans 100	N° de pedido	3003 488	3003 489	3003 490	3003 491	3003 492	3003 493	3003 494	3003 495
prim. 130/ 50°C	kW	50	100	150	200	83 <sup>*2</sup>	140 <sup>*2</sup>	216 <sup>*2</sup>	300 <sup>*2</sup>
sec. 45/ 85°C									
prim. 130/ 50°C	kW	—	—	—	—	94 <sup>*2</sup>	157 <sup>*2</sup>	243 <sup>*2</sup>	340 <sup>*2</sup>
sec. 45/ 90°C									
prim. 130/ 50°C	kW	—	—	—	—	105	175	270	370
sec. 45/ 95°C									
prim. 130/ 50°C	kW	—	—	—	—	70	120	180	250
sec. 45/100°C									
prim. 130/ 50°C	kW	—	—	—	—	26	45	67	93
sec. 45/110°C									
prim. 130/ 50°C	kW	—	—	—	—	90	150	230	325
sec. 47/ 90°C									
prim. 130/ 50°C	kW	—	—	—	—	40	72	105	145
sec. 47/100°C									
prim. 120/ 63°C	kW	—	—	—	—	63 <sup>*2</sup>	105 <sup>*2</sup>	162 <sup>*2</sup>	225 <sup>*2</sup>
sec. 60/ 90°C									
prim. 120/ 60°C	kW	58	115	175	230	—	—	—	—
sec. 55/ 85°C									
prim. 120/ 60°C	kW	—	—	—	—	73 <sup>*2</sup>	122 <sup>*2</sup>	190 <sup>*2</sup>	264 <sup>*2</sup>
sec. 55/ 90°C									
prim. 120/ 55°C	kW	—	—	—	—	83 <sup>*2</sup>	140 <sup>*2</sup>	216 <sup>*2</sup>	300 <sup>*2</sup>
sec. 50/ 90°C									
prim. 120/ 50°C	kW	70	140	210	244 <sup>*2</sup>	—	—	—	—
sec. 45/ 75°C									
prim. 120/ 50°C	kW	—	—	—	—	94	157	240	340
sec. 45/ 90°C									
prim. 110/ 65°C	kW	46 <sup>*2</sup>	93 <sup>*2</sup>	140 <sup>*2</sup>	162 <sup>*2</sup>	—	—	—	—
sec. 60/ 80°C									
prim. 110/ 60°C	kW	—	—	—	—	73	122	190	264
sec. 55/ 90°C									
prim. 110/ 60°C	kW	—	—	—	—	42	75	110	150
sec. 55/ 95°C									
prim. 110/ 50°C	kW	—	—	—	—	48	80	120	170
sec. 45/ 90°C									
prim. 100/ 65°C	kW	46	93	140	162	—	—	—	—
sec. 60/ 80°C									
prim. 100/ 55°C	kW	—	—	—	—	20	34	50	70
sec. 50/ 90°C									
prim. 90/ 70°C	kW	—	—	—	—	35	60	90	125
sec. 65/ 85°C									
prim. 90/ 70°C	kW	46 <sup>*2</sup>	93 <sup>*2</sup>	140 <sup>*2</sup>	162 <sup>*2</sup>	—	—	—	—
sec. 60/ 80°C									
prim. 70/ 50°C	kW	—	—	—	—	25	42	65	90
sec. 45/ 65°C									
prim. 70/ 50°C	kW	23 <sup>*2</sup>	46 <sup>*2</sup>	70 <sup>*2</sup>	81 <sup>*2</sup>	—	—	—	—
sec. 40/ 50°C									
prim. 60/ 45°C	kW	23 <sup>*2</sup>	46 <sup>*2</sup>	70 <sup>*2</sup>	81 <sup>*2</sup>	—	—	—	—
sec. 40/ 50°C									
prim. 50/ 40°C	kW	18	37	55	75	—	—	—	—
sec. 35/ 45°C									
prim. 70/ 40°C	kW	50	100	150	200	—	—	—	—
sec. 10/ 60°C									
prim. 70/ 30°C	kW	—	—	—	—	75	135	200	275
sec. 10/ 60°C									
prim. 65/ 35°C	kW	—	—	—	—	63	105	162	225
sec. 10/ 60°C									

### Pérdida de carga máx. recomendada

en el circuito 200 mbar

primario

en el circuito 200 mbar

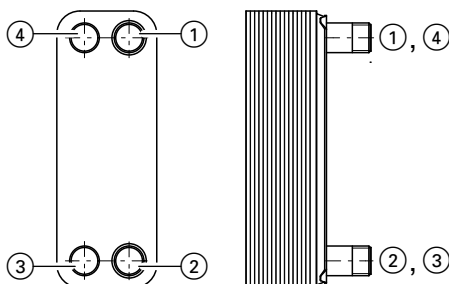
secundario

5728 571 ES

<sup>\*2</sup> Las potencias están limitadas por la pérdida de carga.

## Datos técnicos N° de pedido 3003 488 a 3003 495 (continuación)

### Posibles conexiones

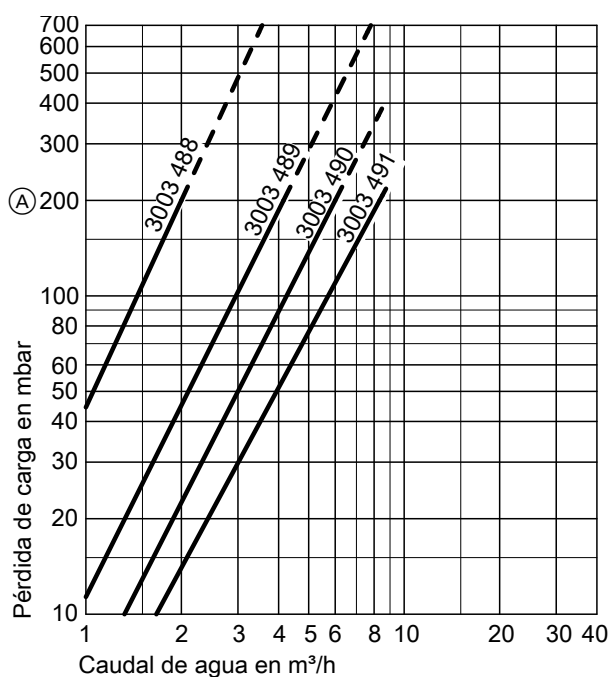


	Entrada	Salida
primario	1	2
secundario	3	4
primario	2	1
secundario	4	3
primario	3	4
secundario	1	2
primario	4	3
secundario	2	1

### Pérdida de carga

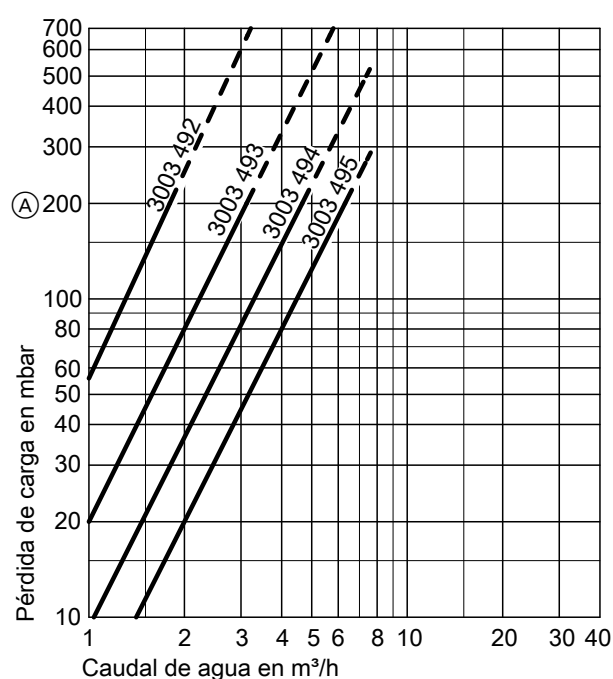
en los circuitos primario y secundario

N° de pedido 3003 488 a 3003 491



Ⓐ Pérdida de carga máx. recomendada

N° de pedido 3003 492 a 3003 495



Ⓐ Pérdida de carga máx. recomendada

## Estado de suministro

Vitotrans 100 con aislamiento térmico de semicoquillas de poliuretano inyectado.

### Indicación

La Directiva de Equipos a Presión 97/23/ CE determina si el Vitotrans 100 está sujeto a un control obligatorio.

## Indicaciones para la planificación

### Instalación del circuito primario de caldera

Vitotrans 100 debe conectarse en contracorriente.

La ubicación debe seleccionarse de forma que se garanticen una purga de aire y un vaciado correctos.

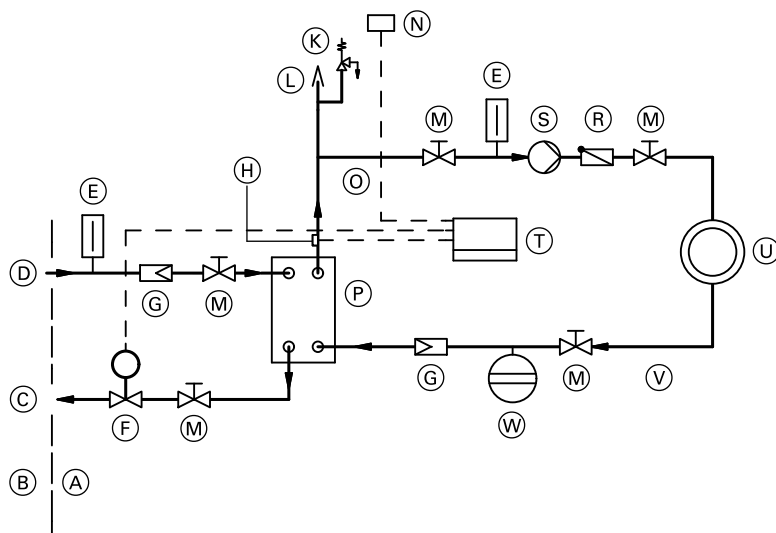
Durante el montaje, debe dejarse una distancia mínima a la pared de 150 mm, ya que el aislamiento térmico se monta tras la instalación del intercambiador de calor.

Todas las conexiones se encuentran en un lado.

5728 571 ES

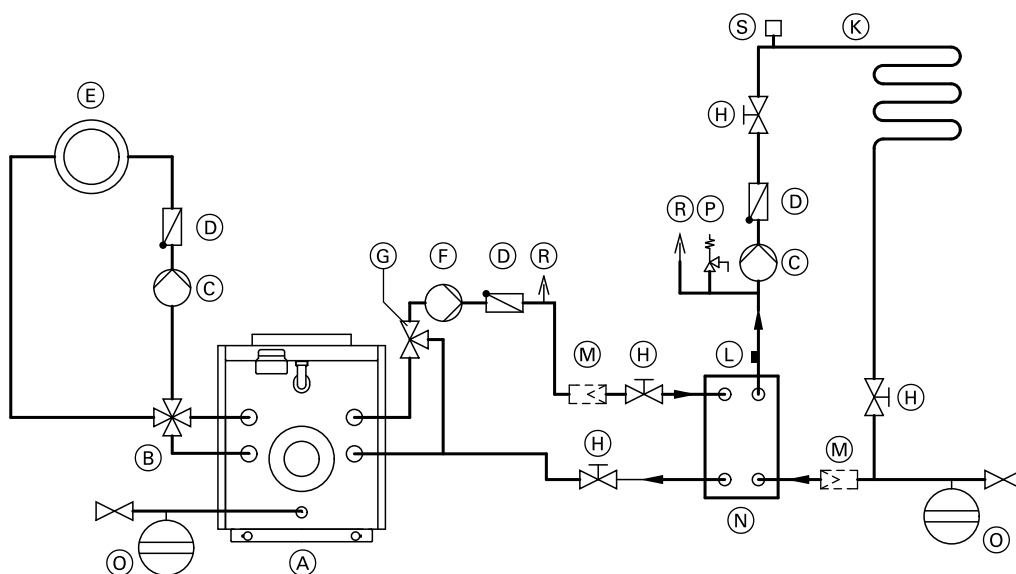
## Ejemplos de aplicación

### Conexión de calefacción a larga distancia (conexión indirecta)



- |  |   |
|--|---|
| (A) Central térmica                            | (M) Válvula de cierre                                   |
| (B) Red de calefacción a larga distancia       | (N) Sonda de temperatura exterior                       |
| (C) Retorno de calefacción a larga distancia   | (O) Impulsión de calefacción del edificio               |
| (D) Impulsión de calefacción a larga distancia | (P) Vitotrans 100                                       |
| (E) Termómetro                                 | (R) Válvula de retención de disco accionada por resorte |
| (F) Regulador de temperatura con servomotor    | (S) Bomba de circulación                                |
| (G) Filtro antisuciedad                        | (T) Regulación central                                  |
| (H) Sonda de temperatura de impulsión          | (U) Calefacción del edificio                            |
| (K) Válvula de seguridad                       | (V) Calefacción del edificio                            |
| (L) Purga de aire                              | (W) Depósito de expansión                               |

### Intercambiador de placas para la separación del sistema en una instalación de calefacción con calefacción por suelo radiante



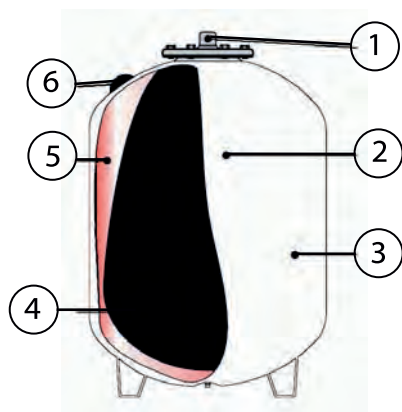
- |   |  |
|---|--|
| (A) Caldera   | (K) Circuito de calefacción por suelo radiante |
| (B) Válvula mezcladora de 4 vías con servomotor         | (L) Sonda de temperatura de impulsión          |
| (C) Bomba del circuito de calefacción                   | (M) Filtro antisuciedad                        |
| (D) Válvula de retención de disco accionada por resorte | (N) Vitotrans 100                              |
| (E) Circuito de calefacción 1                           | (O) Depósito de expansión                      |
| (F) Bomba de circulación para intercambiador de calor   | (P) Válvula de seguridad                       |
| (G) Válvula mezcladora de 3 o 4 vías con servomotor     | (R) Purga de aire                              |
| (H) Válvula de cierre                                   | (S) Termostato de máxima                       |

5728 571 ES

# VASOS DE EXPANSIÓN VERTICALES

**Mecalia**  
energy systems

**ENERGÍA SOLAR**



1. Breda de conexi3n de agua.
2. Armaz3n de acero al carbono.
3. Pintura epoxi-poli3ster anti 3xido/corrosi3n.
4. Membrana en EPDM que garantiza la pureza del agua.
5. C3mara de precarga.
6. V3lvula de precarga con tapa de protecci3n.

- Vasos de expansi3n precargados con membrana recambiable para instalaciones de energ3a solar.

Dep3sitos de acero soldado, fabricados a partir de dos fondos y virola curvada unidos entre s3 mediante cordones de soldadura, realizados seg3n procedimientos y personal homologado seg3n la Directiva Europea 97/23/CE de equipos a presi3n.

Todos los vasos de expansi3n modelos DP/VS y DP/VSV, salen de f3brica controlados, verificados y certificados.

## • APLICACI3N

Los vasos de expansi3n modelo DP/VS y DP/VSV est3n destinados a instalaciones de energ3a solar y aseguran que durante y/o despu3s de un estancamiento del equipo solar estos funcionen con seguridad.

Los captadores solares, pueden alcanzar temperaturas muy elevadas. Debido a esto, el l3quido solar se puede evaporar, lo cual puede generar temperaturas extremas en el circuito, provocando daos en sus componentes. Por esta causa, los vasos de expansi3n est3n equipados con una membrana especialmente resistente hasta una temperatura de 140°C.

A diferencia de los vasos de expansi3n de calefacci3n, los vasos de expansi3n solares, adem3s de compensar la expansi3n del fluido caloportador, tambi3n compensan la reducci3n de volumen en caso de enfriamiento.

## FUNCIONAMIENTO

Entre la membrana y la chapa del dep3sito se encuentra una c3mara llena de aire sometida a presi3n. Una vez conectado el vaso de expansi3n al circuito al que est3 destinado, como consecuencia del calentamiento del fluido caloportador circulante a trav3s de los captadores y el circuito solar, aumentar3 de volumen empezando as3 a llenarse la membrana (V3ase imagen 1).

La membrana al llenarse de agua va empujando esta masa de aire, que se comprime. El volumen sigue aumentando hasta que el agua llega a su temperatura m3xima y la membrana ocupa casi completamente el vaso (V3ase imagen 2).

Cuando la temperatura de la instalaci3n empieza a bajar, tambi3n baja el volumen del agua. El vaso empieza a dar agua a la instalaci3n gracias a la presi3n del aire presente en la c3mara presurizada. El aire empuja a la membrana hasta recobrar la presi3n de diseo original. Al final, cuando el vaso vuelve a la posici3n inicial, el ciclo empieza otra vez (V3ase imagen 3).

A la hora de colocar un vaso de expansi3n en una instalaci3n solar se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Antes de proceder a su instalaci3n, aseg3rese de que el volumen del vaso de expansi3n haya sido calculado por personal autorizado.
- El vaso de expansi3n debe instalarse en el retorno de la instalaci3n solar, lo m3s alejado posible del colector solar.
- El vaso de expansi3n se colocar3 de forma que no puedan formarse bolsas de aire.
- Evitar radiaciones cerca del vaso de expansi3n para proteger la membrana de posibles excesos de temperatura.
- No se permitir3 ninguna v3lvula que pueda cerrarse y aislar el circuito del propio vaso de expansi3n.
- Ajustar la presi3n de hinchado del vaso a la presi3n de la red ( $P_{\text{HINCHADO}} = P_{\text{RED}} + 0,2 \text{ BAR}$ ).



IMAGEN 1



IMAGEN 2



IMAGEN 3

# VASOS DE EXPANSIÓN VERTICALES

## • MANTENIMIENTO

- El mantenimiento debe ser realizado exclusivamente por personal autorizado.
- Al menos una vez cada seis meses comprobar a través de la válvula de hinchado que la presión de la cámara de aire se mantiene en los valores correctos, con la precaución de hacerlo mediante el contraste de valores a igual temperatura y con la instalación despresurizada.
- Nunca desmonte el vaso sin haber previamente despresurizado la instalación.
- La presión estándar del vaso se debe regular y ajustar en función de la instalación en que se coloque.
- Proteja el vaso de las inclemencias atmosféricas.

## • CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Membrana recambiable EPDM.
- Temperatura de trabajo: -10 °C a + 140 °C.
- Marcado CE según Directiva PED 97/23/CE.
- Brida de acero galvanizado con protección interior de polipropileno en la zona de contacto con el agua.
- Mezcla de agua/glicol al 50%.
- Color blanco RAL 9010.

**TABLA DE COEFICIENTES AGUA**

Temperatura del agua (°C)	Coefficiente de dilatación
0	0,00013
10	0,00025
20	0,00174
30	0,00426
40	0,00782
50	0,01207
55	0,01450
60	0,01704
65	0,01980
70	0,02269
75	0,02580
80	0,02899
85	0,03240
90	0,03590
95	0,03960
100	0,04343

## • CÓMO CALCULAR LAS DIMENSIONES DEL VASO

El aumento del volumen de agua es amortiguado por la instalación. Por eso, el volumen útil del vaso tiene que ser más grande respecto del volumen de expansión de la instalación.

El volumen útil se puede calcular como sigue:

$$\text{Volumen útil } \eta = e * C$$

Donde:

• **e** = coeficiente de expansión del agua; se obtiene restando el coeficiente de dilatación del agua a la temperatura máxima de ejercicio y el coeficiente de dilatación del agua con la instalación apagada (En general se consideran  $T_{\max} = 90^{\circ}\text{C}$  y  $T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ , por lo cual  $e = 0,0359$ ; véase la tabla adjunta).

• **C** = capacidad total de la instalación, expresada en litros (por lo general entre 10 y 20 litros por cada 1.000 Kcal/h de potencia de la caldera).

Para calcular qué vaso instalar, tenga en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen del vaso} = \frac{\eta}{1 - \frac{(P_i+1)}{(P_f+1)}}$$

Donde:

•  $\eta$  = al volumen útil del vaso que se desea instalar.

•  $P_i$  = Presión de precarga del vaso en BAR.

•  $P_f$  = Presión máxima de ejercicio a la cual ha sido calibrada la válvula de seguridad considerando el desnivel de altura entre la válvula y el vaso.

## • EJEMPLO DE CÁLCULO

Datos de la instalación:

- **e = 0,0359**
- **C = 400 litros.**
- **$P_i$  = 1,5 BAR.**
- **$P_f$  = 3 BAR.**

$$\text{Volumen del vaso} = \frac{0,0359 * 400}{1 - \frac{(1,5+1)}{(3+1)}} = 38,3 \text{ litros}$$

En cualquier caso, se adaptará al tamaño comercial que más se acerque al calculado, siempre por exceso.

Modelo	Capacidad (Litros)	Dimensiones (mm)		Conexión	Presión de trabajo (BAR)	Presión de precarga (BAR)
		Ø	Altura			
INSTALACIÓN MURAL						
DP/VS	5	160	305	3/4"	8	2,5
DP/VS	12	280	295	3/4"	8	2,5
DP/VS	18	280	425	3/4"	8	2,5
DP/VS	24	280	490	3/4"	8	2,5
INSTALACIÓN EN SUELO						
DP/VSV	35	365	450	3/4"	8	2,5
DP/VSV	50	365	565	3/4"	8	2,5
DP/VSV	60	365	670	3/4"	8	2,5
DP/VSV	80	410	690	1"	8	2,5
DP/VSV	100	495	665	1"	8	2,5
DP/VSV	200	600	1.085	1"	8	2,5
DP/VSV	300	650	1.215	1"	8	2,5
DP/VSV	400	700	1.345	1"	8	2,5



## CIRCULADORES DE CALEFACCIÓN.

**CIRCULADORES DE ALTA EFICIENCIA.** La **variación automática de la velocidad** es la principal propiedad de los circuladores de alta eficiencia. Esta característica permite que el circulador regule automáticamente su velocidad y consumo en función de las necesidades instantáneas de la instalación, consiguiéndose: **1.** Ahorro energético. **2.** Circulación más silenciosa. **3.** Funcionamiento óptimo en instalaciones con llave termostáticas o válvulas de zona.

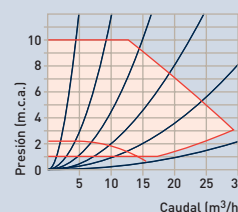


- SERIE QUANTUM

- 

The graph shows the relationship between pressure (Presión [m.c.a.]) on the y-axis and flow rate (Caudal [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]) on the x-axis. The y-axis ranges from 0 to 8, and the x-axis ranges from 0 to 16. There are three blue curves representing the pump's performance at different speeds. A red curve represents the system's resistance, which is the sum of static head and friction losses. The intersection of the red curve and the blue curves determines the operating point of the pump system.

Quantum 50



Quantum 65



**CIRCULADORES DE EFICIENCIA STANDARD.** Una amplia gama de circuladores tradicionales de calidad contrastada que contiene respuestas para todas las instalaciones.

## SERIE PC

- Rango de temperaturas de trabajo de -10°C a 110°C (\*).
- Presión máxima de trabajo 10 bar.

(\*) De -20°C a 120°C para PC 1045, PC 1055 y PC 1065.  
Selector de velocidad eléctrica.

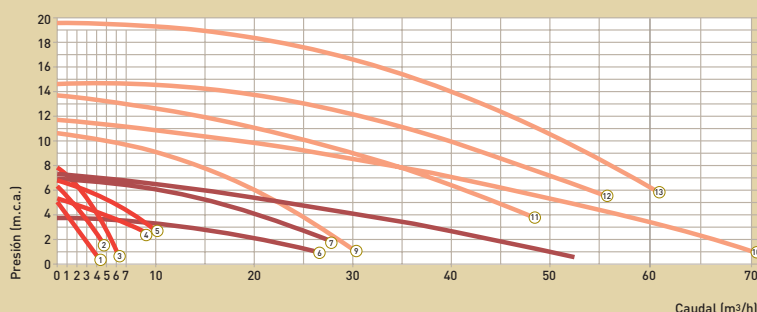
## SERIE MC y SC

- Rango de temperaturas de trabajo de -20°C a 130°C (\*).
- Presión máxima de trabajo 10 bar.
- Visualización del sentido de giro, de la tensión de alimentación y de la velocidad seleccionada.

Selector de velocidad eléctrica.

## Curvas características Series PC, MC y SC

1 PC 1025	6 MC 50, MC 50 II	10 SC 80 L
2 PC 1035	7 MC 65, MC 65 II	11 SC 65
3 PC 1045	8 MC 80	12 SC 80 M
4 PC 1055	9 SC 50	13 SC 80 H
5 PC 1065		

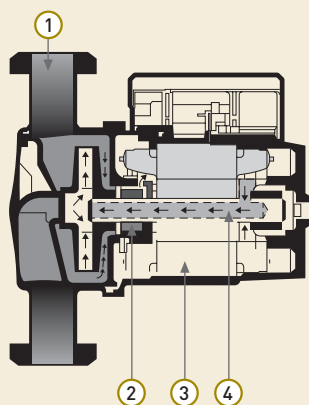


## CIRCULADORES DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

ESTOS CIRCULADORES ESTÁN ESPECIALMENTE CONCEBIDOS PARA APLICACIONES DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA. LOS ELEMENTOS MÓVILES DE LOS CIRCULADORES TIENEN CARACTERÍSTICAS ESPECIALES QUE LOS HACEN APROPIADOS PARA APLICACIONES CON AGUA EN CONTINUA RENOVACIÓN.

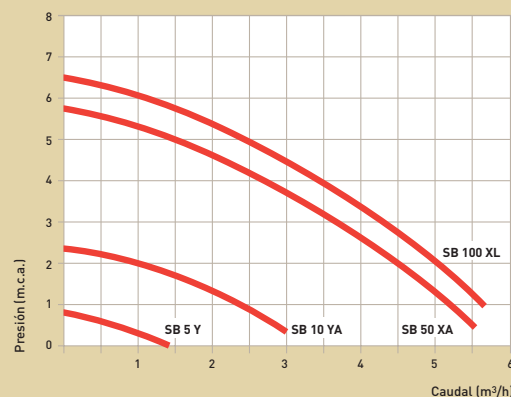
## SERIE SB

- Temperatura máxima de trabajo 60°C.
- Presión máxima de trabajo 10 bar.
- Aplicación en instalaciones de agua caliente sanitaria. Ubicación en el circuito de recirculación, tras los puntos de consumo [circuito secundario].
- Gran durabilidad de sus componentes al ser fabricados con materiales seleccionados como el bronce y el acero inoxidable.
- Elevada resistencia a la dureza del agua: hasta 35°C.
- Renovación constante del agua en la cámara rotórica.
- Selector de velocidad eléctrico.



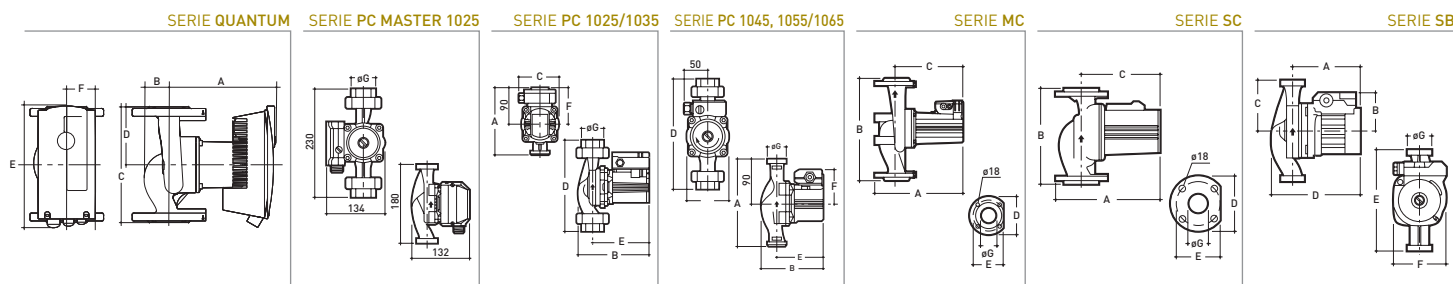
Sección circulador Serie SB

## Curvas características Serie SB



1. Cuerpo hidráulico fabricado en bronce (acero inoxidable en el SB 100 XL).
2. Cojinetes de grafito que garantizan una mínima fricción con el árbol cerámico.
3. Motores de reducidas dimensiones de máxima fiabilidad y elevado rendimiento.
4. Árbol perforado lo que conlleva una renovación constante del agua y el mantenimiento de la temperatura por debajo del umbral de precipitación calcárea.

# DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



MODELO	Motor (datos eléctricos)					Nº posiciones selector velocidad	Condensador (incluido) µF(*)
	Tensión	Velocidad	Potencia absorbida	Intensidad nominal A(*)			
	V	r.p.m. (*)	máx. W (*)	220-230 V	380-400 V		
QUANTUM-50	monof. 220-230	1.800-4.800	18-310	0,17-1,37	-	-	-
QUANTUM-65	monof. 220-230	1.800-4.600	21-620	0,16-2,70	-	-	-
PC MASTER 1025	monof. 220-230	950-1.850	99	0,40	-	-	2,6 x 400
PC 1025	monof. 230	1.050-1.450-1.950	35-35-35	0,38	-	3	2,6 x 400
PC 1035	monof. 230	1.150-1.650-2.250	47-47-47	0,42	-	3	3 x 400
PC 1045	monof. 230	1.350-1.950-2.420	115-165-205	1,0	-	3	5 x 400
PC 1055	monof. 230	1.710-2.340-2.660	110-150-180	0,85	-	3	5 x 400
PC 1065	monof. 230	1.100-1.480-2.160	130-200-245	1,20	-	3	5 x 400
MC 50 II	monof. 220-230	2.600	385	1,70	-	2	8 x 400
MC 50	trif. 380-400	2.620	360	1,20	0,70	3	-
MC 65 II	monof. 220-230	2.730	570	2,50	-	2	16 x 400
MC 65	trif. 380-400	2.720	570	2,00	1,15	3	-
MC 80	trif. 380-400	2.740	1.040	3,25	1,85	3	-
SC 50	trif. 380-400	2.600	810	2,55	1,50	3	-
SC 65	trif. 380-400	2.810	870	2,90	1,65	3	-
SC 80 L	trif. 380-400	2.780	1.530	4,85	2,80	3	-
SC 80 M	trif. 380-400	2.880	2.600	10,70	6,20	3	-
SC 80 H	trif. 380-400	2.900	3.550	12,70	7,30	2	-
SB 5 Y	monof. 220-230	1.850	30	0,15	-	1	1,6 x 400
SB 10 YA	monof. 220-230	2.500	56	0,24	-	3	2 x 400
SB 50 XA	monof. 220-230	2.300	114	0,50	-	3	2,6 x 400
SB 100 XL	monof. 220-230	2.450	183	0,80	-	3	5 x 400

(\*) Valores correspondientes a la velocidad máxima. Condensador incluido.

MODELO	Dimensiones en mm								Peso
	A	B	C	D	E	F	GØ	Kg	
QUANTUM-50	207	50	240	120	182	54,8	2"	24,80	
QUANTUM-65	256	61	280	140	207	65,5	2 1/2"	38,40	
PC MASTER 1025	-	-	-	-	-	-	1" ó 1 1/4"	2,9	
PC 1025	180	132	93	230	98	77	1" ó 1 1/4"	2,6	
PC 1035	180	132	93	230	98	77	1 1/4"	2,6	
PC 1045	180	189	110	230	150	90	1 1/4"	3,8	
PC 1055	180	204	116	230	158	90	1 1/4"	4,2	
PC 1065	180	204	116	230	158	90	1 1/4"	4,2	
MC 50 II	283	280	247	165	125	-	2"	14	
MC 50	283	280	200	165	125	-	2"	14	
MC 65 II	327	340	247	185	145	-	2 1/2"	22	
MC 65	327	340	234	185	145	-	2 1/2"	22	
MC 80	358	360	258	200	160	-	3"	29	
SC 50	306	280	223	165	125	-	2"	19	
SC 65	349	340	256	185	145	-	2 1/2"	26	
SC 80 L	358	360	258	200	160	-	3"	31	
SC 80 M	403	360	294	200	160	-	3"	46	
SC 80 H	403	360	294	200	160	-	3"	48	
SB 5 Y	96	73	65	129	130	96	20/22 (*)	2	
SB 10 YA	96	74	65	130	130	96	20/22 (*)	2	
SB 50 XA	109	77	90	145	180	96	1" (*)	2,8	
SB 100 XL	146	84	90	174	180	97	1" (*)	3,2	

(\*) Conexión tubería.

## ASISTENCIA TÉCNICA CLIENTES

Formado por especialistas altamente cualificados, para atenderle en cualquier punto del país.



## CONFORME A LAS DIRECTIVAS



73/23/CEE de Baja Tensión.  
89/336/CEE Compatibilidad Electromagnética.  
89/392/CEE de Máquinas (\*).

Dimensiones facilitadas en mm. Características y prestaciones susceptibles de variación sin previo aviso. Ambientaciones reproducidas prescindiendo de exigencias de instalación.

## Baxi Calefacción, S.L.U.

Salvador Espriu, 9  
08908 L'Hospitalet de Llobregat | Barcelona  
T. +34 93 263 0009 | TF. +34 93 263 4633  
www.baxicalefaccion.com

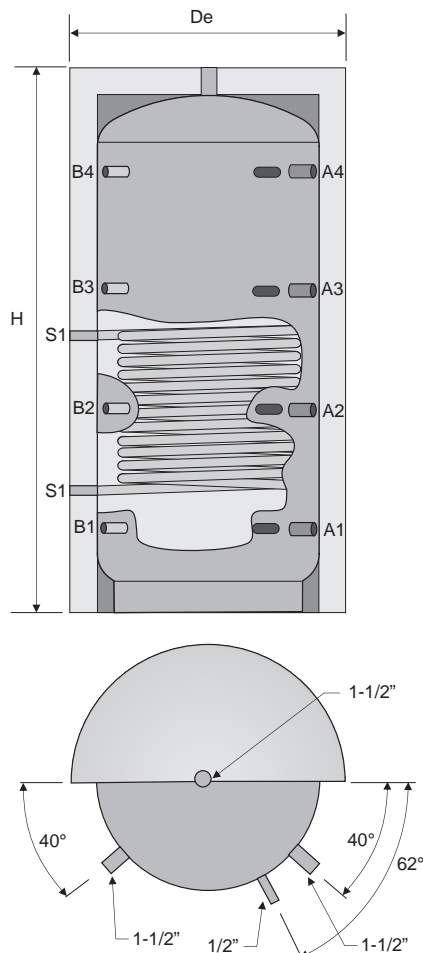
A BAXI GROUP company



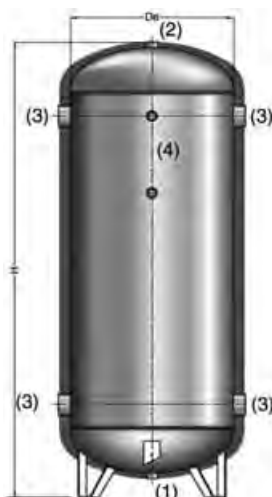
## 01 DEPÓSITOS DE INERCIA

## IDROGAS

### INTER AIIN:



### AIEX:



#### CONEXIONES:

1. Vaciado
2. Salida de agua caliente
3. Conexiones instalación
4. Conexiones 1/2", sondas varias

### • Serie IDROGAS AIIN y AIEX

Los depósitos de inercia de la serie IDROGAS AIIN y AIEX están pensados para acumulación de agua en circuitos primarios. Están fabricados en acero negro al carbono ST37-2 y tienen un aislamiento flexible de poliuretano de 50 mm, acabado en skay.

**GARANTIA:** 2 años.

#### CONDICIONES DE TRABAJO:

Inercia AIIN:

P. max. de trabajo: 6 bar

T. max de trabajo: 95°C

Inercia AIEX:

P. max. de trabajo: 8 bar

T. max de trabajo: 95°C



Código	Artículo	€
<b>INTERACUMULADORES DE INERCIA INTERIOR</b>		
CC 01 415	INTER AIIN 300	995,00
CC 01 416	INTER AIIN 500	1.233,00
CC 01 417	INTER AIIN 800	1.481,00
CC 01 418	INTER AIIN 1000	1.702,00
CC 01 419	INTER AIIN 1500	1.989,00
CC 01 420	INTER AIIN 2000	2.603,00
CC 01 421	INTER AIIN 2500	3.006,00
CC 01 422	INTER AIIN 3000	3.381,00
CC 01 423	INTER AIIN 4000	4.641,00
CC 01 424	INTER AIIN 5000	5.083,00
<b>DEPÓSITOS DE INERCIA INTERIOR</b>		
CC 01 425	AIIN 500	928,00
CC 01 426	AIIN 800	1.083,00
CC 01 427	AIIN 1000	1.216,00
CC 01 428	AIIN 1500	1.437,00
CC 01 429	AIIN 2000	1.680,00
CC 01 430	AIIN 2500	2.188,00
CC 01 431	AIIN 3000	2.387,00
CC 01 432	AIIN 4000	3.426,00
CC 01 433	AIIN 5000	3.868,00

Cap.	Dimensiones (mm)		Peso	Interc.	P. máx.	Conexiones		
I	H	De	Kg	m <sup>2</sup>	serp. (bar)	A-B	S	S1
300	1.400	650	90	1,50	9	1-1/4"	1/2"	1"
500	1.630	750	139	2,40	9	1-1/2"	1/2"	1"
800	1.805	850	167	2,70	9	1-1/2"	1/2"	1"
1000	2.055	950	181	3,10	9	1-1/2"	1/2"	1"
1500	2.300	1.100	272	4,20	9	1-1/2"	1/2"	1-1/4"
2000	2.350	1.200	310	4,50	9	1-1/2"	1/2"	1-1/4"
2500	2.470	1.300	358	4,75	9	1-1/2"	1/2"	1-1/4"
3000	2.720	1.350	385	5,00	9	1-1/2"	1/2"	1-1/4"
4000	2.800	1.600	550	6,00	9	1-1/2"	1/2"	1-1/4"
5000	2.810	1.700	650	7,00	9	1-1/2"	1/2"	1-1/4"

Código	Artículo	€
<b>DEPÓSITOS DE INERCIA PARA INTEMPERIE</b>		
CC 01 462	AIEX 800	1.371,00
CC 01 463	AIEX 1000	1.408,00
CC 01 464	AIEX 1500	1.831,00
CC 01 465	AIEX 2000	2.218,00
CC 01 466	AIEX 2500	2.668,00
CC 01 467	AIEX 3000	2.860,00
CC 01 468	AIEX 4000	4.177,00
CC 01 469	AIEX 5000	4.622,00

Cap.	Dimensiones (mm)		Peso	Conex. (rosca macho)		
I	H	De	Kg	1	2	3
800	1.645	850	150	1-1/4"	1-1/4"	3"
1000	2.141	850	160	1-1/4"	1-1/4"	3"
1500	2.200	1.000	180	2"	2"	3"
2000	2.499	1.100	200	2"	2"	3"
2500	2.750	1.200	230	2"	2"	4"
3000	2.780	1.250	260	2"	2"	4"
4000	2.600	1.500	300	2"	2"	4"
5000	2.700	1.600	350	2"	2"	4"

De: diámetro exterior; H: altura

interacumuladores murales 1 serpentín de 75, 100, 150 y 200 litros

IFF-75 M || IFF-100 M || IFF-150 M || IFF-200 M



- \_ 75, 100, 150 y 200 litros
- \_ Forma exterior redonda
- \_ Instalación vertical mural
- \_ Cuba de acero con esmalte al titanio vitrificado a 850° C
- \_ Soldadura por plasma
- \_ Superaislamiento de poliuretano expando sin CFC y sin HCFC
- \_ Ánodo de magnesio
- \_ Tratamiento exterior por nanotecnología
- \_ Resistente a la intemperie
- \_ Kit resistencia opcional



Aislante libre de CFC y HCFC



Vertical



Soldadura plasma



Nanotecnología



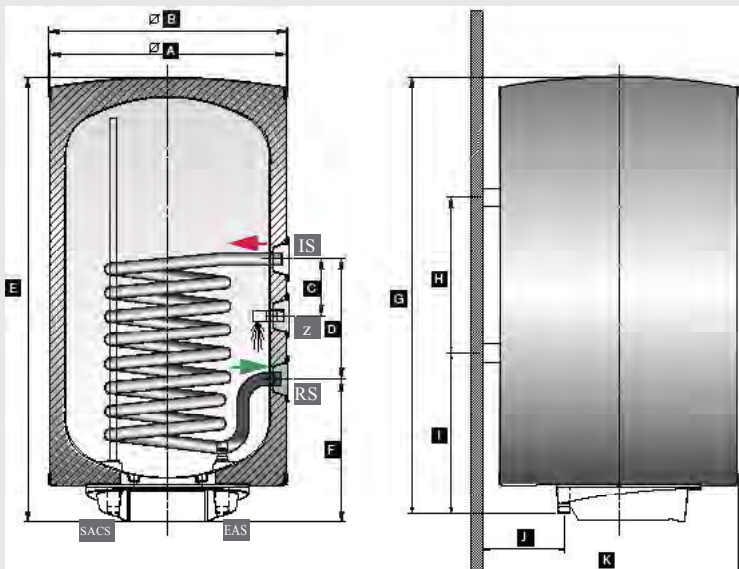
Resistencia a la intemperie



1 serpentín



Esquemas y dimensiones:



CONEXIONES

- EAS Entrada agua sanitaria
- SACS Salida agua caliente sanitaria
- RS Retorno solar
- IS Ida solar
- Z Recirculación

DIMENSIONES (mm)	IFF-75 m	IFF-100 m	IFF-150 m	IFF-200 m
Cota A	500	500	500	500
Cota B	505	505	505	505
Cota C	100	120	150	150
Cota D	204	254	404	554
Cota E	788	942	1280	1615
Cota F	328	328	328	328
Cota G	745	924	1262	1597
Cota H	280	435	790	790
Cota I	250	250	250	250
Cota J	175	175	175	175
Cota K	521	521	521	521

		interacumuladores murales 1 serpentín			
		IFF-75 M	IFF-100 M	IFF-150 M	IFF-200 M
CARACTERÍSTICAS					
Capacidad interacumulador	L	75	100	150	200
Presión maxima de ACS	bar	8	8	8	8
Presión máxima serpentín	bar	25	25	25	25
Temperatura máxima circ. ACS	°C	90	90	90	90
Temperatura máxima circ. serpentín	°C	110	110	110	110
Superficie intercambio serpentín	m²	0,409	0,468	0,646	0,823
Capacidad serpentín	L	1,98	2,27	3,13	3,98
Longitud del serpentín		5,208	5,959	8,225	10,50
Superficie de captación máxima según volumen	m²	1,5	2	3	4
Superficie de captación máxima según serpentín	m²	2,7	3,1	4,3	5,48
Pérdidas estáticas	kWh/24h	0,98	1,25	1,65	1,95
DIMENSIONES					
Longitud	mm	763	942	1280	1615
Diámetro exterior	mm	500	500	500	500
Ø serpentín		25x1,5	25x1,5	25x1,5	25x1,5
Ø conexiones ACS		3/4" M	3/4" M	3/4" M	3/4" M
Ø conexiones serpentín		1/2" H	1/2" H	1/2" H	1/2" H
Radio de vuelco mínimo	m	0,92	1,07	1,38	1,7
EMBALAJE					
Alto	mm	810	990	1330	1660
Ancho	mm	560	560	560	560
Fondo	mm	590	590	590	590
Peso en vacío aprox.	kg	35	41,5	52	62,5
TEMPERATURA LÍMITE		90°C			
CALIDAD DE AGUA: CONTENIDOS MÁXIMOS					
Cal		<200 mg/l			
Salinidad		<500 mg/l			
Acidez		5<PH<12			

DENOMINACIÓN COMERCIAL	CODIGO	EAN13
IFF-75 M	913010024	8413880192932
IFF-100 M	913010025	8413880192949
IFF-150 M	913010026	8413880192956
IFF-200 M	913010030	8413880210827

## Accesorio Opcional:

DENOMINACIÓN COMERCIAL	CODIGO	EAN13
kit resistencia IFF-M (2.400W)	979010066	8413880210667

Los acumuladores Fagor van de serie con una brida con tres vainas para poder tener la posibilidad de integrar 2 resistencias de 1200 W cada una más 1 termostato.





Reducidas dimensiones:  
855 x 440 x 393 mm



Mantenimiento sencillo y económico por sus componentes fácilmente accesibles



Limpieza de intercambiador sin vaciar la caldera

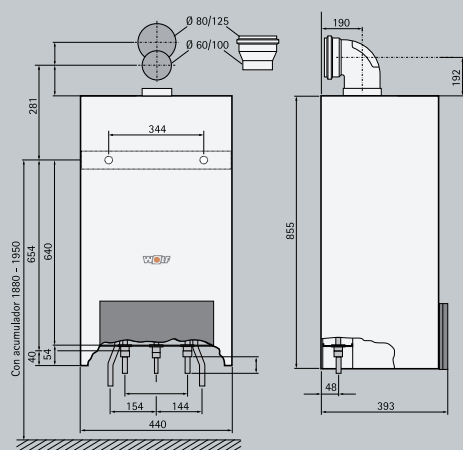
Calderas murales de condensación a gas  
CGB-K mixta de 24 y 28 kW y  
CGB sólo calefacción de 20 y 24 kW

## Calderas murales de condensación a gas CGB 20-24 y CGB-K 20-24



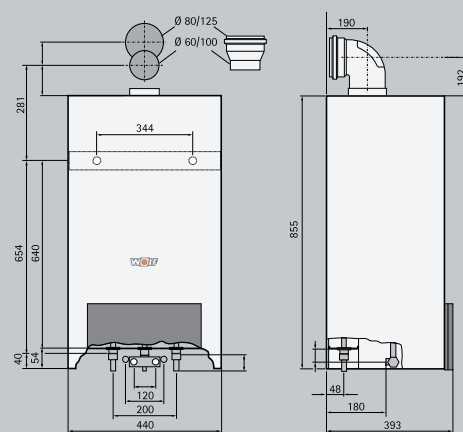
Ventajas de las calderas CGB 20-24 y CGB-K 20-24:

- Alto rendimiento energético: Hasta 110% sobre el PCI.
- Ventilador modulante proporcional aire/gas: mantiene el rendimiento de combustión estable, desde el 25% al 100%.
- Muy silenciosa.
- Posibilidad de producción de A.C.S. mediante microacumulación con sistema **EcoWolf** (en calderas mixtas CGB-K). Gran ahorro por programación de horarios en combinación con regulación BM.
- Intercambiador de aluminio/magnesio/silicio en forma helicoidal y aleteado para aumentar el rendimiento y evitar corrosiones.
- Salida de gases hasta 9 m con Ø 60/100 para la CGB-K-20 y CGB-K-24 y 30 m en bitubular con Ø 80/80 (ver configuraciones y alcances salidas de gases).
- Adaptación automática en función de salida de humos.
- Gran variedad en regulaciones: **Sistema WRS**.
- Mínimas emisiones contaminantes.
- Fácil mantenimiento y limpieza (sin vaciar el circuito hidráulico), mediante el uso de un intercambiador abatible sobre un eje hidráulico-mecánico patentado por Wolf.
- 2 años de garantía total (desplazamientos, mano de obra y piezas).



CGB-20 y CGB-24

- 1 Impulsión interacumulador\*  
2 Impulsión calefacción  
3 Salida de condensados  
4 Conexión de gas  
5 Retorno calefacción  
6 Retorno interacumulador\*
- \* Mediante kit de conexión a interacumulador



CGB-K-20 y CGB-K-24

- 1 Impulsión calefacción  
2 Salida de condensados  
3 Conexión agua caliente  
4 Conexión agua caliente  
5 Conexión de gas  
6 Conexión agua fría  
7 Conexión agua fría  
8 Retorno calefacción

## Datos Técnicos \*

Modelo		CGB 20	CGB 24	CGB-K-20	CGB-K-24
Potencia a 80/60°C	kW	19,0 <sup>1)</sup>	23,1 <sup>1)</sup>	19,0/22,9 <sup>1)</sup>	23,1/27,6 <sup>1)</sup>
Potencia a 50/30°C	kW	20,5	24,8	20,5	24,8
Carga térmica nominal	kW	19,5/23,5 <sup>1)</sup>	23,8/28,5 <sup>1)</sup>	19,5/23,5 <sup>1)</sup>	23,8/28,5 <sup>1)</sup>
Potencia mínima (modulando) a 80/60°C	kW	5,6	7,1	5,6	7,1
Potencia mínima (modulando) a 50/30°C	kW	6,1	7,8	6,1	7,8
Potencia mínima (modulando)	kW	5,7	7,3	5,7	7,3
Impulsión calefacción-Diámetro exterior	G	¾"	¾"	¾"	¾"
Retorno calefacción-Außendurchmesser	G	¾"	¾"	¾"	¾"
Conexión agua caliente/Recirculación	G	¾"	¾"	¾"	¾"
Conexión A.C.S.	G	¾"	¾"	¾"	¾"
Conexión de gas	R	½"	½"	½"	½"
Conexión salida de humos	mm	60/100	60/100	60/100	60/100
Salidas de gases	Modelo	B23, B33, C13x, C33x, C43x, C53, C53x, C63x, C83x, C93x			
Categoría de gas		I12ELL3B/P	I12ELL3P	I12ELL3B/P	I12ELL3P
Gasto calorífico Gas natural E/H (Hi =9,5 kWh/m³ = 34,2 MJ/m³)	m³/h	2,05/2,47 <sup>2)</sup>	2,50/3,00 <sup>2)</sup>	2,05/2,47 <sup>1)</sup>	2,50/3,00 <sup>1)</sup>
Gas natural LL (Hi =8,6 kWh/m³ = 31,0 MJ/m³)	m³/h	2,27/2,73 <sup>2)</sup>	2,77/3,31 <sup>2)</sup>	2,27/2,73 <sup>1)</sup>	2,77/3,31 <sup>1)</sup>
GLP (Hi =12,8 kWh/kg = 46,1 MJ/kg)	kg/h	1,52/1,84 <sup>2)</sup>	1,86/2,23 <sup>2)</sup>	1,52/1,84 <sup>1)</sup>	1,86/2,23 <sup>1)</sup>
Presión entrada de gas: Gas natural	mbar	20	20	20	20
Presión entrada de gas: GLP	mbar	50	50	50	50
Rendimiento estacional a 40/30° C. (PCI/PCS)	%	109 / 98	109 / 89	109 / 98	109 / 89
Rendimiento estacional a 75/60° C. (PCI/PCS)	%	107 / 96	106 / 96	107 / 96	106 / 96
Rendimiento a potencia nominal 100% 80/60° C. (PCI/PCS)	%	98 / 88	98 / 88	98 / 88	98 / 88
Rendimiento a carga parcial 30%. TR=30° C (PCI/PCS)	%	107 / 97	107 / 97	107 / 97	107 / 97
Temperatura de impulsión ajustada	°C	75	75	75	75
Temperatura de impulsión hasta	°C	90	90	90	90
Presión máxima de trabajo	bar	3,0	3,0	3,0	3,0
Altura manométrica de la bomba de 3 velocidades circuito calefacción					
Caudal de 570 l/h (10kW con Δt = 15K)	mbar	250/250/100	250/250/100	250/250/100	250/250/100
Caudal de 860 l/h (15kW con Δt = 15K)	mbar	250/160/-	250/160/-	250/160/-	250/160/-
Caudal de 1140 l/h (20kW con Δt = 15K)	mbar	140/-/-	140/-/-	140/-/-	140/-/-
Altura manométrica de la bomba electrónica para circ. calefacción					
Caudal de 475 l/h (11kW con Δt = 20K)	mbar	250	250	250	250
Caudal de 860 l/h (20kW con Δt = 20K)	mbar	220	230	220	230
Producción de A.C.S. con Δt = 30° C	Ltr./min	-	-	2,0-11,0	2,0-15,0
Presión máxima de trabajo	bar	-	-	10	10
Temperatura A.C.S. graduable	°C	-	-	40-60	40-60
Capacidad vaso de expansión	Ltr.	12	12	12	12
Presión inicial vaso de expansión	bar	0,75	0,75	0,75	0,75
Temperatura salida de humos 80/60-50/30	°C	75-45	85-45	75-45	85-45
Caudal máscico de humos	g/s	8,9/10,7 <sup>1)</sup>	10,8/13,0 <sup>1)</sup>	8,9/10,7 <sup>1)</sup>	10,8/13,0 <sup>1)</sup>
Presión disponible del ventilador	Pa	90	90	90	90
Valor evacuación de gases		G52(II5)	G52(II5)	G52(II5)	G52(II5)
Emisión NOx	Clase	5	5	5	5
Condensados a 50/30°C	Ltr./h	aprox 2,0	aprox 2,4	aprox 2,0	aprox 2,4
PH condensados	aprox 4,0	aprox 4,0	aprox 4,0	aprox 4,0	aprox 4,0
Potencia eléctrica absorbida	W	110	110	110	110
Protección	IP	IPX4D	IPX4D	IPX4D	IPX4D
Peso total	kg	42	42	45	45
Homologación CE		CE-0085BN0380	CE-0085BN0380	CE-0085BN0380	CE-0085BN0380
Conexión eléctrica		230 V/50 Hz	230 V/50 Hz	230 V/50 Hz	230 V/50 Hz

1) Calefacción/A.C.S. 2) Sin / con acumulador

\* Reservado el derecho de modificaciones técnicas



Science and Technology Create Perfection

# Installation and Operating Manual

## **SR988C1 SOLAR CONTROLLER**

For Split Pressurized Hot Water System



*Read the instruction carefully please before operation!*

## 7. Quality Guarantee

Manufacturer provides following quality responsibilities to end-users: within the period of quality responsibilities, manufacturer will exclude the failure caused by production and material selection. A correct installation will not lead to failure. When a user takes incorrect handling way, incorrect installation, improper or crud handling, wrong connection of sensor in system and incorrect operation, the quality responsibility is invalid for them.

The warrantee expires within 24 months after the date of purchasing the controller.





## 8. Technical data

Specification	Parameter
Appearance of controller	200mm×155mm×45mm
Power supply	AC230V±10%
Power consumption	< 3W
Accuracy of temperature measuring	±2 °C
Range of collector sensor measuring	-10~220°C
Range of tank sensor measuring	0~100°C
Suitable power of pump	9个, ≤ 200W
Suitable power of electrical heater	1个, ≤ 1500W
Inputs	2 x Pt1000 sensor (≤500°C) for collector (silicon cable≤280°C), 10 x NTC10K, B3950 sensor (≤ 135°C) for tank or pipe, (PVC cable ≤105°C),
Outputs	9 relays for circulation pumps or 3-way electromagnetic valve 1 relay for electrical heater
Ambient temperature	-10~50 °C
Water proof grade	IP40

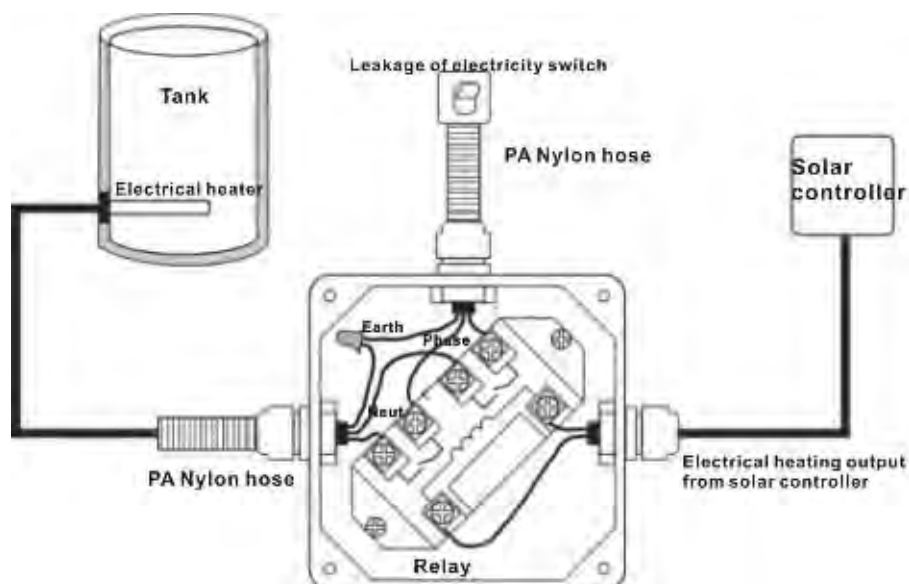
## 9. Delivery scope

Lists	Amount
Controller	1
Operation manual	1
PT1000 sensor (size: Φ6*50mm,cable1.5m)	2
NTC10K (size: Φ6*50mm,cable 3m)	5
Plastic expansion screw	3
Screw	3
Strain-relief clamp	1

## 10. Device matchable to this controller

<b>Sensor for collector:</b> high accuracy PT1000 sensor(A01) Parameter: PT1000, $\Phi$ 6X50mm, 1.5m cable	
<b>Sensor for tank:</b> high accuracy NTC 10K sensor (A02) Parameter: NTC10K,B=3950, $\Phi$ 6X50mm, 3m cable	
<b>Thermowell of sensor:</b> stainless thermowell ( A05) Parameter: 1/2' male thread, $\Phi$ 8X200mm.	
<b>Contactor unit of high power: SR802</b> When user selects electrical heater as back-up device, we recommend using SR802 unit connecting controller and electrical heater. <b>Technical data of SR802</b> Dimension: 100*100*65mm Power supply: 180V~264V/AC 50/60Hz Suitable power: $\leq 4000W$ Available ambient temperature: $-10 \sim 50^{\circ}C$ Water proof grade: IP43	

### SR802 CONNECTION DIAGRAM:



**Note:** open the case of SR802 should be done by qualified person, and switch-off the power.



## 11 VÁLVULA DE SEGURIDAD ESCAPE CONDUCIDO

### Construcción:

- **Obturador:** acero inoxidable AISI 316-L
- **Portamuelle inferior:** latón lingote en 1982
- **Portamuelle superior:** latón lingote en 1982
- **Muelle:** acero cuerda piano clase C-84
- **Tornillo regulación:** barra latón en 12164 CW 614 N
- **Base:** bronce UNE 37103-DIN 1705
- **Campana:** latón lingote en 1982
- **Junta tórica:** goma sintética
- **Tuerca fijación:** barra latón en 12164 CW 614 N

### Características técnicas:

- **Temperatura Min. Máx:** -20°C / +220°C
- **Presiones máximas de trabajo:** 3/8" 15 Bar  
1/2" a 3" 30 Bar

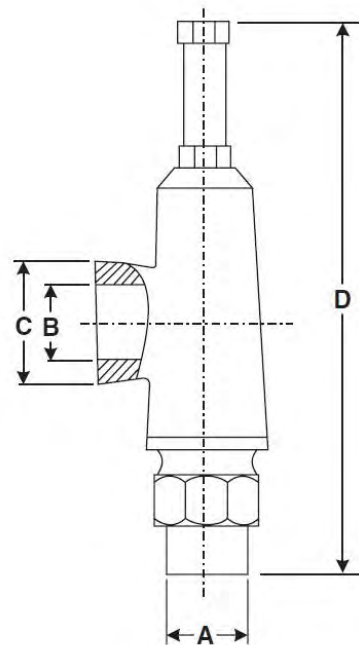
### Dimensiones:

Código	Tamaño	A	B	C	D
AA 11 40*	3/8"	24	R 3/8"	25	115
AA 11 41*	1/2"	26	R 1/2"	29	145
AA 11 42*	3/4"	32	R 3/4"	35	155
AA 11 43*	1"	40	R 1"	44	200
AA 11 44*	1-1/4"	47	R 1-1/4"	53	200
AA 11 45*	1-1/2"	57	R 1-1/2"	58	210
AA 11 46*	2"	67	R 2"	69	235
AA 11 47*	2-1/2"	85	R 2-1/2"	92	280
AA 11 48*	3"	98	R 3"	103	320

**Nota:** Para completar el código añadir el último dígito indicativo \* de la presión de tara (ver tabla ↓)

Código	Presión de tara	Código	Presión de tara
AA 11 -- 1 (←*)	1 bar	AA 11 -- 6 (←*)	6 bar
AA 11 -- 2 (←*)	2 bar	AA 11 -- 7 (←*)	7 bar
AA 11 -- 3 (←*)	3 bar	AA 11 -- 8 (←*)	8 bar
AA 11 -- 4 (←*)	4 bar	AA 11 -- 9 (←*)	9 bar
AA 11 -- 5 (←*)	5 bar	AA 11 -- 0 (←*)	10 bar

Cumplen con los requisitos de la directiva de equipos a presión 97/23/CE.






**TABLA DE EVACUACIÓN DE AIRE:**

P <sub>relativa</sub> (bar)	Caudales (m³/h)								
	3"	2-1/2"	2"	1-1/2"	1-1/4"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
1	1036	725	420	268	172	105	67	28	18
2	1578	1104	641	408	263	160	102	43	27
3	2121	1484	861	549	353	215	137	58	37
4	2663	1863	1081	689	443	270	172	73	46
5	3205	2243	1301	829	533	325	207	88	55
6	3748	2623	1522	970	624	380	242	102	65
7	4290	3002	1742	1110	714	435	278	117	74
8	4833	3382	1962	1250	804	490	313	132	83
9	5375	3761	2182	1391	895	545	348	147	93
10	5918	4141	2403	1531	985	600	383	162	102
11	6460	4520	2623	1671	1075	655	418	176	111
12	7003	4900	2843	1812	1165	710	453	191	121
13	7545	5280	3063	1952	1256	765	488	206	130
14	8088	5659	3284	2092	1346	820	523	221	140
15	8630	6039	3504	2232	1436	875	558	236	149
16	9173	6418	3724	2373	1527	930	593	250	158
17	9715	6798	3944	2513	1617	985	628	265	168
18	10258	7177	4164	2653	1707	1040	664	280	177
19	10800	7557	4385	2794	1797	1095	699	295	186
20	11343	7937	4605	2934	1888	1150	734	310	196
21	11885	8316	4825	3074	1978	1205	769	325	205
22	12427	8696	5045	3215	2068	1260	804	339	214
23	12970	9075	5266	3355	2159	1315	839	354	224
24	13512	9455	5486	3495	2249	1370	874	369	233
25	14055	9834	5706	3636	2339	1425	909	384	243
26	14597	10214	5926	3776	2429	1480	944	399	252
27	15140	10594	6147	3916	2520	1535	979	413	261
28	15682	10973	6367	4057	2610	1590	1014	428	271
29	16225	11353	6587	4197	2700	1645	1050	443	280
30	16767	11732	6807	4337	2791	1701	1085	458	289

**TABLA DE EVACUACIÓN DE AGUA:**

P	Q (l/min)								
	3"	2-1/2"	2"	1-1/2"	1-1/4"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
1	343	240	139	89	57	35	22	9	6
2	484	339	197	125	81	49	31	13	8
3	593	415	241	153	99	60	38	16	10
4	685	479	278	177	114	69	44	19	12
5	766	536	311	198	127	78	50	21	13
6	839	587	341	217	140	85	54	23	14
7	906	634	368	234	151	92	59	25	16
8	966	678	393	251	161	98	63	26	17
9	1028	719	417	266	171	104	66	28	18
10	1083	758	440	280	180	110	70	30	19
11	1136	795	461	294	189	115	73	31	20
12	1187	830	482	307	197	120	77	32	20
13	1235	864	501	320	206	125	80	34	21
14	1282	897	520	332	213	130	83	35	22
15	1327	928	539	343	221	135	86	36	23
16	1370	959	556	354	228	139	89	37	24
17	1412	988	573	365	235	143	91	39	24
18	1453	1017	590	376	242	147	94	40	25
19	1493	1045	606	386	249	151	97	41	26
20	1532	1072	622	396	255	155	99	42	26
21	1570	1098	637	406	261	159	102	43	27
22	1607	1124	652	416	267	163	104	44	28
23	1643	1150	667	425	273	167	106	45	28
24	1678	1174	681	434	279	170	109	46	29
25	1713	1199	695	443	285	174	111	47	30
26	1747	1222	709	452	291	177	113	48	30
27	1780	1246	723	460	296	181	115	49	31
28	1813	1268	736	469	302	184	117	49	31
29	1845	1291	749	477	307	187	119	50	32
30	1876	1313	762	485	312	190	121	51	32



## 01 PURGADOR DE BOYA INOXIDABLE PURG-INOX 2000

**VOSS** El Purgador de  
Máxima Calidad...   
MADE IN GERMANY

**Purgador automático de boya construido completamente en acero INOX. AISI 316.**

**Aconsejable para instalaciones en condiciones extremas de temperatura y presión, en las que se requiera una elevada resistencia del purgador a las altas temperaturas y a la oxidación.**

**Especialmente indicado para instalaciones de energía solar, centrales térmicas, industria en general, depuradoras de agua, bombas, etc.**

### CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Cuerpo: INOX. AISI 316.
- Boya: libre en INOX. AISI 316.
- Junta: EPDM.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Rosca: 3/8 M.
- Presión máxima: 16 bar.
- Temperatura máxima: 150°C.
- Capacidad de purga:

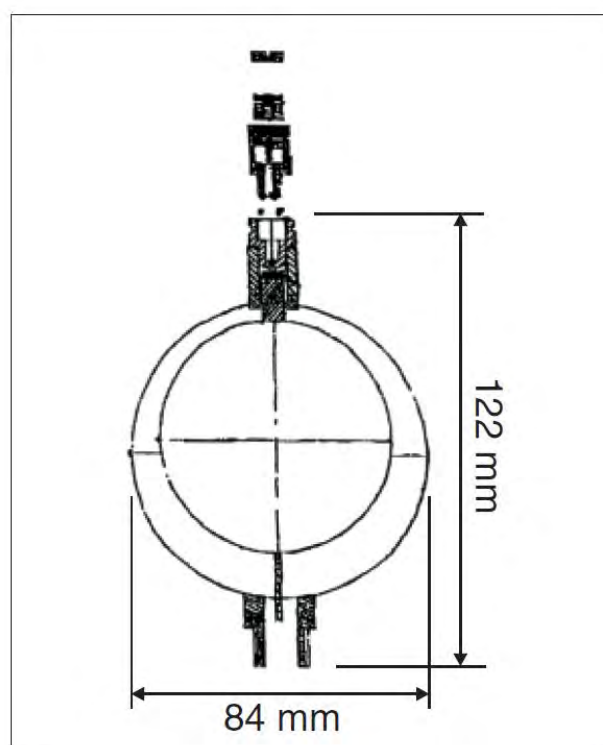
Bar	2	3	4	5	6
lts/min	30	45	60	80	90



**Válido para  
Energía Solar**



Código: AC 01 023. Rosca 3/8" M





## 03 VÁLVULA DE BOLA MANDO MARIPOSA

### BALL VALVE WITH HANDLE



#### CONSTRUCCIÓN / MATERIALS

- Cuerpo: **Latón MS58 cromado**  
Body: *Chrome-plated brass MS58*
- Bola: **Latón cromado pulido**  
Ball: *Polished chrome-plated brass*
- Anillos de cierre: **Teflón (PTFE)**  
Seats: *Teflon (PTFE)*
- Eje: **Latón estampado**  
Stem: *Patterned brass*
- Palanca/Handle: **Aluminio pintado/Coated aluminium**

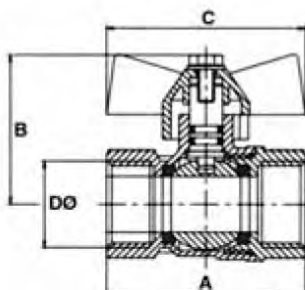
#### CONDICIONES DE TRABAJO/OPERATING CONDITIONS

- Temperatura mín./Min. temp.: **-10°C**
- Temperatura máx./Max. temp.: **130°C**
- Presión máxima./Max. pressure: **25 Bar**

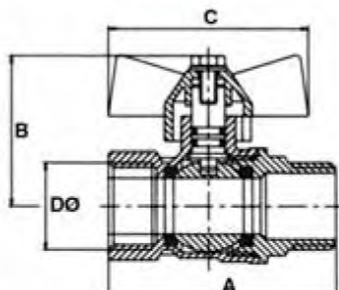
#### APLICACIONES / APPLICATIONS

- Agua caliente y fría, aire comprimido, gasolina, nafta, gasóleo, keroseno, aceites, etc...  
*Warm and cold water, compressed air, petrol, naphta, diesel oil, kerosene, oils, etc.*

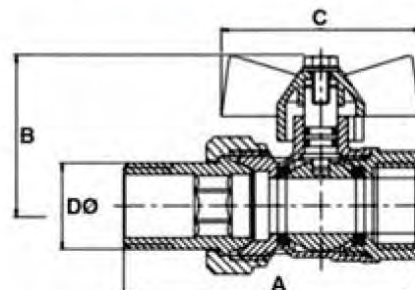
#### HEMBRA-HEMBRA FEMALE-FEMALE



#### MACHO-HEMBRA MALE-FEMALE



#### MACHO-HEMBRA RACOR MALE-FEMALE W/UNION



#### DIMENSIONES / DIMENSIONS

Rosca Thread	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"
A	41,50	41,50	48,50	56,00	66,50
B	35,00	35,00	39,00	42,00	49,00
C	44,00	44,00	53,00	53,00	59,00
DØ	9,00	9,70	14,50	19,00	24,00
Peso Weight	0,110	0,120	0,152	0,230	0,360
Uds. caja Units box	12	12	10	10	5
Código Code	AA03185	AA03186	AA03187	AA03188	AA03189

Rosca Thread	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"
A	42,00	42,00	48,50	57,50	67,00
B	38,00	38,00	39,00	42,00	49,50
C	49,00	49,00	53,00	53,00	59,00
DØ	9,00	9,70	14,50	19,00	24,00
Peso Weight	0,110	0,120	0,150	0,225	0,375
Uds. caja Units box	12	12	10	10	5
Código Code	AA03191	AA03192	AA03193	AA03194	AA03195

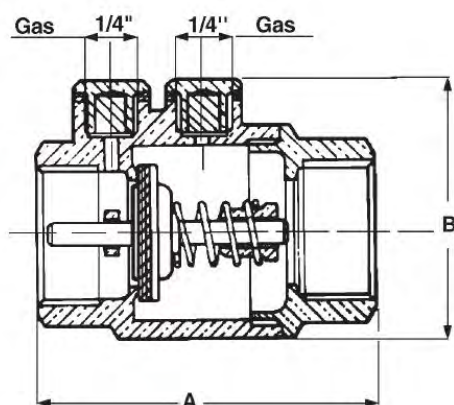
Rosca Thread	1/2"	3/4"	1"
A	75,00	81,00	89,00
B	44,00	47,50	56,00
C	48,00	48,00	60,50
DØ	14,50	19,00	24,00
Peso Weight	0,242	0,345	0,550
Uds. caja Units box	10	10	5
Código Code	AA 03 201	AA 03 202	AA 03 203



**05 VALVULAS DE RETENCION****ROMA**

- **Cuerpo:** latón estampado.
- **Embolo:** acero inoxidable AISI-304.
- **Asiento:** vitón (FPM).
- **Muelle:** acero inoxidable 18/8.

- **Presión máxima:** ver tabla
- **Temperatura de trabajo:** -15 + 150°C.
- **Posición de trabajo:** cualquiera.
- **Adecuada para gasolina y carburantes en general**

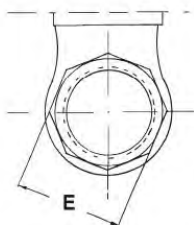
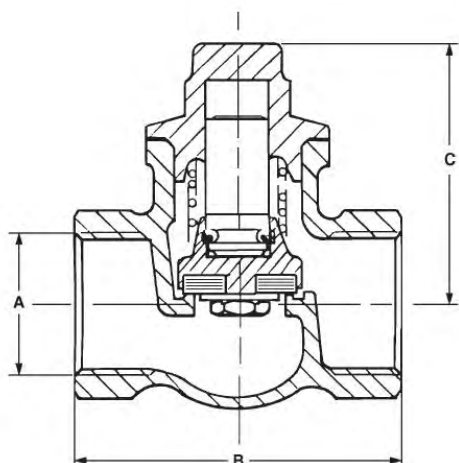
**DIMENSIONES Y PRESIONES**

Rosca	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"
A (mm)	63	68,5	69,5	79	84	93,5	108
B (mm)	48,5	48,5	56	62	74	84,5	100,5
Presión máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )	25	25	25	25	18	18	18
Embalaje (uds./caja)	10	10	8	6	4	4	2

**05 VALVULAS DE RETENCION BRONCE**

- **Cuerpo:** bronce RG-5.
- **Tapa y eje:** latón.
- **Muelle:** acero inoxidable.
- **Asiento:** teflón PTFE.

- **Temperatura máxima:** 150°C.
- **Presión máxima:** 16 bar.
- **Posición de trabajo:** cualquiera.

**DIMENSIONES**

Rosca	1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"
A (mm)	15	20	25	32	40	50
B (mm)	50	60	70	85	90	110
C (mm)	39	48	53	56	63	72
E (mm)	26	32	38	49	55	68



▼ En la foto: H4049L, G2534R, G4089L, G2535L, G4040L



## Referencia visual de la presión en un sistema

### Manómetros con glicerina (serie G)

- Graduación en bar y psi
- Todas las piezas sensibles a la presión se han sellado y están amortiguadas con glicerina para obtener una larga vida útil
- Incluye disco de seguridad contra rupturas y membrana de igualación de presión
- Se recomienda usar amortiguadores de manómetro o válvulas de aguja en aplicaciones con variaciones de presión frecuentes.

### Ciclos frecuentes (serie H)

- Graduación en bar y psi
- Ideales para muchas aplicaciones, especialmente en condiciones de muchos ciclos y ambientes agresivos
- Se recomienda usar amortiguadores de manómetro o válvulas de aguja para aislar el manómetro cuando no esté en uso.



#### Adaptador de manómetro

Para instalación fácil en casi cualquier sistema, Enerpac ofrece una línea completa de adaptadores de manómetro.

Página: 132



#### Válvula de cierre estanco de aguja V-91

Extremadamente regulable para medir la presión del aceite en un manómetro.

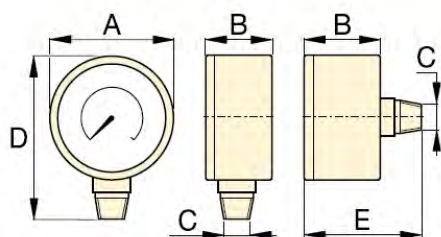
La válvula V-91 también se puede usar como válvula de cierre rápido para proteger el manómetro durante las aplicaciones de gran número de ciclos.

Página: 134

◀ Use siempre un manómetro al elevar o dar presión. Un manómetro es su 'ventana' al interior del sistema. Le permite saber que está pasando.



# Manómetros para presión hidráulica



Tamaño	Montaje	Dimensiones (mm)				
		A	B	C	D	E
63	Montaje inferior	63	37	1/4" NPTF	84	—
63	Trasero central	63	37	1/4" NPTF	—	63
100	Trasero inferior	100	29	1/4" NPTF	121	—
100	Montaje inferior	100	49	1/2" NPTF	136	—

Nota: Las dimensiones se dan únicamente como referencia.

**Serie  
G  
H**



Rango de presiones:

**0 - 1000 bar**

Diámetro de la esfera:

**63 - 100 mm**

Precisión, % a fondo de escala:

**± 1,0% - 1,5%**



**Aguja de máxima**

La aguja retiene las lecturas pico de la presión:  
Modelo: **BSS-881**.

Nota:

Sólo para manómetros de la serie H.

## ▼ TABLA DE SELECCION

Serie de manómetro	Presión		Modelo				Graduación mayor		Graduación menor		Graduación mayor		Graduación menor	
			ø 63 ¼" NPTF Montaje inferior	ø 63 ¼" NPTF Trasero central	ø 100 ¼" NPTF Montaje inferior	ø 100 ½" NPTF Montaje inferior								
							bar				psi			
	(bar)	(psi)	Precisión: ± 1,5 %		Precisión: ± 1,0 %		ø 63	ø 100	ø 63	ø 100	ø 63	ø 100	ø 63	ø 100
Serie G	0-7	0-100	G2509L	–	–	–	1	–	0,01	–	10	–	2	–
	0-11	0-160	G2510L	–	–	–	1	–	0,02	–	10	–	2	–
	0-14	0-200	G2511L	–	–	–	1	–	0,02	–	50	–	5	–
	0-20	0-300	G2512L	–	–	–	5	–	0,50	–	50	–	5	–
	0-40	0-600	G2513L	–	–	–	10	–	1	–	100	–	10	–
	0-70	0-1.000	G2514L	G2531R	–	–	10	–	1	–	100	–	20	–
	0-140	0-2.000	G2515L	–	–	–	10	–	2	–	500	–	50	–
	0-200	0-3.000	G2516L	–	–	–	50	–	5	–	500	–	50	–
	0-400	0-6.000	G2517L	G2534R	–	–	100	–	10	–	1000	–	100	–
	0-700	0-10.000	G2535L	G2537R	G4088L	G4039L	100	100	10	10	2000	1000	200	100
	0-1000	0-15.000	G2536L	G2538R	G4089L	G4040L	100	100	20	20	3000	3000	200	200
Serie H	0-700	0-10.000	–	–	H4049L	H4071L	–	100	–	10	–	1000	–	100





## 08 FILTRO DE AGUA AUTOLIMPIANTE DE LATÓN

### DESCRIPCIÓN:

- Presión máxima de entrada: 25 bar
- Cartucho filtrante de 100 micras
- Conexión de manómetro en entrada y salida
- Temperatura máxima de trabajo: 130°C
- Conexiones roscadas ISO 228/1
- Medidas disponibles de 1/2" a 2"
- Válvula de descarga 3/8"
- Fluido de utilización agua

### MATERIALES:

- Metal del cuerpo del filtro: Aleación de cobre CB753S EN 1984
- Metal de la tuerca: Aleación de cobre CW614N UNI EN 12164
- Cartucho Acero inoxidable AISI 304
- Base del cartucho: NBR 70 SH
- O-rings: NBR 70 SH
- Elementos de plástico: Ultramide A3K BASF



### ACCESORIOS:

- Manómetro Ø63 de 1/4" 0-10 bar (código: IM 30 405)
- Manómetro Ø63 de 1/4" 0-16 bar (código: IM 30 406)

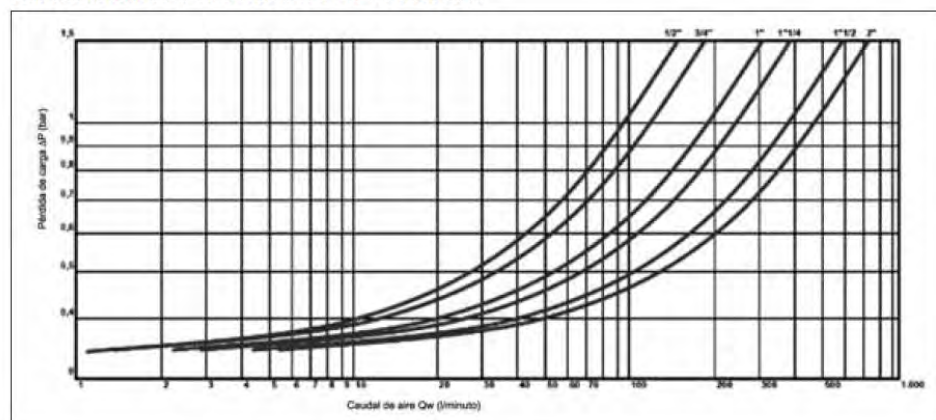
### SUPERFICIE FILTRANTE:

DN	mm <sup>2</sup>
1/2"	680
3/4"	680
1"	1180

DN	mm <sup>2</sup>
1-1/4"	1180
1-1/2"	1720
2"	1720

Código	Artículo	Ref.
TA 08 601	Filtro autolimpiante de latón 1/2"	156.12
TA 08 602	Filtro autolimpiante de latón 3/4"	156.34
TA 08 603	Filtro autolimpiante de latón 1"	156.33
TA 08 604	Filtro autolimpiante de latón 1-1/4"	156.114
TA 08 605	Filtro autolimpiante de latón 1-1/2"	156.112
TA 08 606	Filtro autolimpiante de latón 2"	156.58

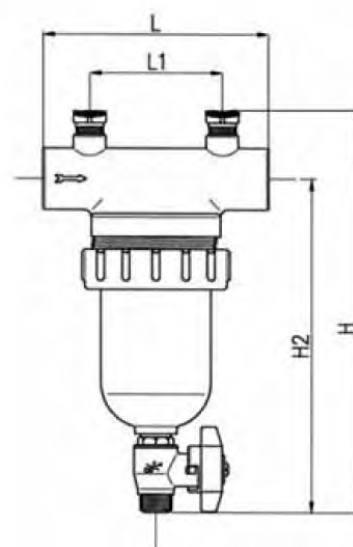
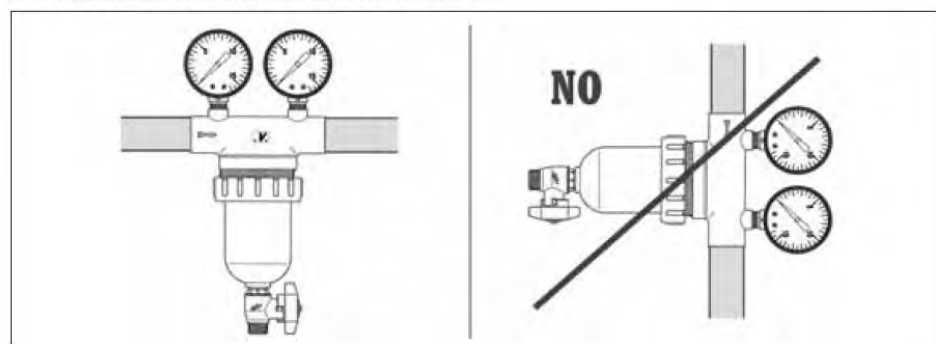
### DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE CARGA:



### DIMENSIONES (mm):

DN	L	L1	H	H2
1/2"	118	70	196	165
3/4"	118	70	196	165
1"	123	72	220	180
1-1/4"	123	72	220	180
1-1/2"	153	98	258	214
2"	153	98	258	214

### INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO:





## 02 VÁLVULAS DE ASIENTO DE BRONCE PN-16

### JENKINS (de interrupción) y ASIENTO CÓNICO (de regulación)

#### CONSTRUCCIÓN

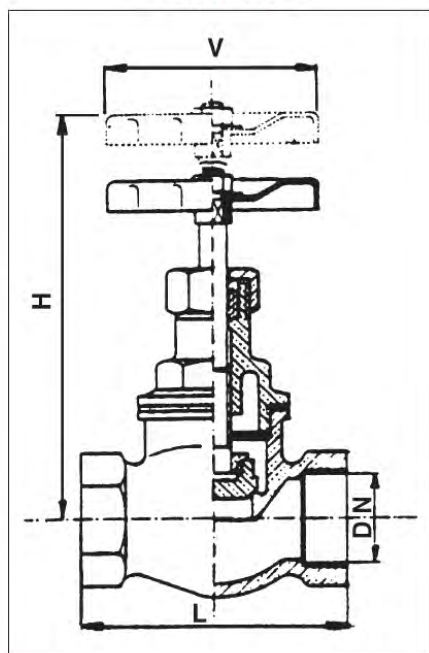
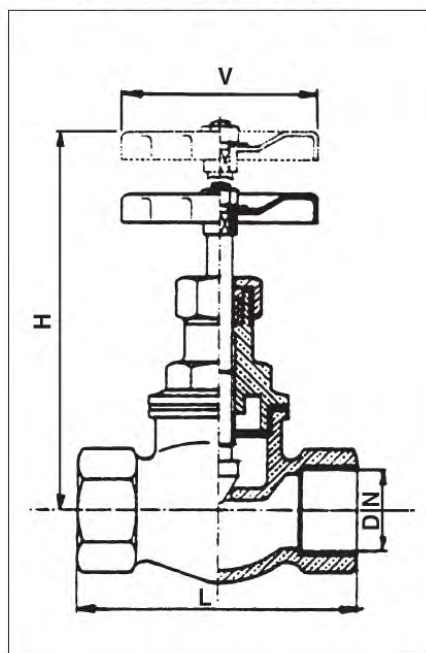
- Cuerpo: Bronce
- Bonete: Latón
- Eje: Latón
- Volante: Aluminio
- Cierre:
  - Jenkins: Mediante anillo de teflón
  - Asiento cónico: Mediante un cono de latón afinado
- Conexiones: Roscas BSP

#### CONDICIONES DE TRABAJO

- Presión nominal: 16 bar
- Temperatura máxima: 180 °C

#### APLICACIONES

- Agua caliente y fría, vapor, aire comprimido, freón, aceites minerales y vegetales, etc...


**JENKINS**

**ASIENTO CÓNICO**

**DIMENSIONES EN mm**

DN	L	H	V	KG
1/4	45	75	50	0,100
3/8	45	75	50	0,150
1/2	50	85	50	0,250
3/4	60	95	50	0,370
1"	70	105	60	0,520
1"-1/4	85	118	70	0,870
1"-1/2	90	130	80	1,150
2"	110	145	80	1,900